CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

DISCUTINDO A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO MÉDIO: UM CAMINHO A PARTIR DO DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS ATÔMICOS

Cristiano Barbosa de Moura

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientadora:

Andreia Guerra de Moraes

Rio de Janeiro

Dezembro de 2014

DISCUTINDO A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO MÉDIO: UM CAMINHO A PARTIR DO DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS ATÔMICOS

Cristiano Barbosa de Moura

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Aprovado por:

_____

Profa. Dra. Andreia Guerra de Moraes (Orientadora)

_____

Prof. Dr. José Claudio de Oliveira Reis

_____

Profa. Dra. Thais Cyrino de Mello Forato - UNIFESP

Rio de Janeiro

Dezembro de 2014

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

M929 Moura, Cristiano Barbosa de
Discutindo a natureza da ciência no ensino médio : um caminho a partir do desenvolvimento dos modelos atômicos / Cristiano Barbosa de Moura.—2014.
ix, 155f. + apêndices : il.color. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2014.
Bibliografia : f. 149-155
Orientadora : Andreia Guerra de Moraes

1. Ciência – Estudo e ensino. 2. Ciência – História. 3. Átomos – Modelos. 4. Pesquisa-ação em educação. I. Moraes, Andreia Guerra de (Orient.). II. Título.

CDD 507

AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada, deixo claro que a omissão de nomes é proposital, para evitar que a minha memória falha acabe por injustiçar alguém.

Agradeço em primeiro lugar à minha família, meus pais e meu irmão, esteio que permitiu que alçasse vôos mais altos. A meu sobrinho e afilhado que com seus sorrisos e abraços mais sinceros da face de Terra (e às vezes lutas contra dinossauros, brigas de espadas) deu um pouco mais de graça à pesada rotina.

À minha orientadora, professora Andreia Guerra, por todo o apoio, por todas as conversas, o entusiasmo e os ideais compartilhados, a confiança a cada passo dado e pela orientação absolutamente dedicada deste trabalho. Levo deste trabalho um exemplo de pessoa e profissional.

Aos meus professores que estão, em certa medida, neste trabalho. Escolhi ser professor por muito admirar diversos professores que tive. Com este trabalho, gostaria de deixar o meu muito obrigado e ressaltar o quanto vocês foram importantes na minha formação. Este trabalho é em homenagem a vocês!

Aos meus amigos, que me compreenderam e apoiaram neste momento bastante complicado que é a escrita de uma dissertação. Pela amizade, pelas viagens, pelas cervejas, almoços, compartilhados ao sabor de boas conversas e risadas, histórias contadas pessoal ou virtualmente, diariamente ou eventualmente, pela compreensão ao esquecer um ou outro ou muitos aniversários ou não poder comparecer às comemorações.

Aos professores (em especial os da minha equipe), funcionários, meus alunos e a direção do CAp UFRJ, essa escola que me ensinou um pouco mais sobre ser docente e sobre o que é ter o espírito capiano, além de ter permitido e contribuído para a realização da pesquisa.

Aos professores do programa Ciência, Tecnologia e Educação, por todo o conhecimento compartilhado e construído ao longo destes 2 anos. Aos professores que aceitaram o convite para fazer parte da banca e fizeram valiosas contribuições a este trabalho. Aos amigos que fiz no programa e que também compartilharam comigo suas ideias e sonhos.

Os filósofos limitaram-se a interpretar o mundo de diversas maneiras; o que importa é modificá-lo.

Karl Marx

RESUMO

DISCUTINDO A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO MÉDIO: UM CAMINHO A PARTIR DO DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS ATÔMICOS

Cristiano Barbosa de Moura

Orientadora:
Andreia Guerra de Moraes

Resumo da dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Esta pesquisa busca explorar as questões sobre a Natureza da Ciência que podem ser discutidas em nível médio com a introdução de personagens históricos do final do século XIX e início do século XX tradicionalmente inexplorados no ensino de modelos atômicos. Para isso, foram traçados 3 objetivos: a construção de uma abordagem didática introduzindo na narrativa histórica estes personagens e explicitando as questões de Natureza da Ciência a serem discutidas; a aplicação da sequência didática construída e, por último, a análise da aplicação, discutindo desafios e potencialidades da abordagem. Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica em fontes primárias e secundárias sobre a história dos modelos atômicos, que deu suporte à construção da sequência didática, sob a perspectiva da estratégia desenvolvida por Guerra, Braga e Reis (2013), denominada de três eixos (adaptada). A construção da sequência didática foi feita ao caminhar da aplicação da mesma, seguindo a metodologia da pesquisa-ação. Foi observado o surgimento de alguns desafios à inserção de história e filosofia da ciência, já listados pela literatura, e ainda outras questões inerentes especificamente à abordagem cultural da ciência e à abordagem de um tema tradicionalmente já tratado de maneira histórica pelos livros didáticos. Os três eixos se mostraram uma ferramenta positiva na inserção e os recursos didáticos utilizados desempenharam um importante papel na pesquisa.

Palavras-chave: Modelos Atômicos; Natureza da Ciência; História da Ciência; Pesquisa-ação; Abordagem Contextual da Ciência

Rio de Janeiro
Dezembro de 2014

ABSTRACT

DISCUSSING ABOUT NATURE OF SCIENCE IN SECONDARY SCHOOL: A PATH FROM THE DEVELOPMENT OF ATOMIC MODELS

Cristiano Barbosa de Moura

Advisor:
Andreia Guerra de Moraes

Abstract of dissertation submitted to the Graduate Program in Science, Technology and Education of Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master.

This research aims to explore questions about Nature of Science that can be discussed in secondary School with the introduction of historical characters from late 19th century and the early 20th century who are traditionally unexplored in the teaching of atomic models. For this purpose, 3 aims were drawn: first, the construction of a didactic sequence that could include these characters and explicit the questions about NoS to be discussed; second, the implementation of didactic sequence and then, the assessment of this implementation, discussing the potentialities and challenges of this approach. At the beginning of the research, a litetature review on primary and secondary sources about the history of the development of atomic models was carried out, which provided support to the construction of the didactic sequence, under the three axes' perspective (adapted), developed by Guerra, Braga and Reis (2013). The construction of the didactic sequence was carried out along its own implementation, according to the Action Research methodology. It was observed the emergence of some challenges as already reported by the literature as well as others issues specifically inherent to the cultural approach to science and to the approach to a theme which is traditionally treated in a historical way in textbooks. The three axes tool was a positive point and the didactic resources developed played an important role in this research.

Key words: Atomic Models, Nature of Science, History of Science, Action Research, Contextual Approach to Science

Rio de Janeiro
2014, December

SUMÁRIO

I. Introdução 1

II. Algumas considerações iniciais 6

II.1 Natureza da ciência e da química 6

II.2 Discutir NdC no ensino de química passa por um tema atual e polêmico: a filosofia da química 9

II.3 Enfoques explícitos VS. Enfoques implícitos na abordagem de NdC 12

II.4 História e Filosofia da Ciência como estratégia didática para o Ensino de Química 13

II.5 Os três eixos como uma ferramenta para a transposição didática em abordagens histórico-filosóficas 21

III. Metodologia 24

III.1 A pesquisa qualitativa como paradigma metodológico 24

III.2 A metodologia da pesquisa-ação e sua apropriação por esta pesquisa 26

III.3 Complementando o olhar sobre os dados: análise textual discursiva 31

IV. A história do atomismo na virada do século XIX para o XX revisitada 35

IV.1 O contexto cultural 35

IV.2 O eixo técnico 40

IV.3 O eixo científico 46

IV.3.1 O átomo de J. J. Thomson 47

IV.3.2 Os átomos planetários de Perrin, Nagaoka, Rutherford e Nicholson 49

IV.3.3 O átomo de Niels Bohr 54

IV.4 O atomismo na virada de século sob um novo olhar: evidenciando questões de Natureza da Ciência 56

V. Narrando a pesquisa e analisando os resultados 58

V.1 Descrevendo o ambiente de pesquisa 58

V.1.1 O Colégio de Aplicação 58

V.1.2 As turmas e o currículo de química do CAp UFRJ 61

V.1.3 O professor-pesquisador 64

V.2 Uma visão geral da sequência didática 65

V.3 Fase Exploratória 67

V.3.1 Análise das respostas ao questionário 68

V.3.2 Análise do debate 74

V.4 Módulo 1 92

V.5 Módulo 2 97

V.6 Atividade 1 104

V.7 Módulo 3 113

V.8 Atividade Final 119

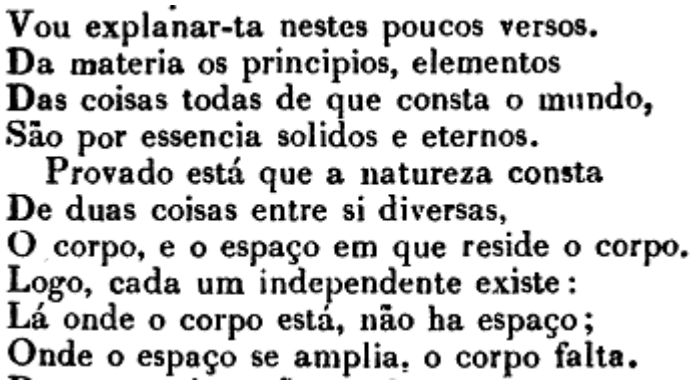
V.9 Uma avaliação global dos resultados 140

VI. Considerações Finais 147

Referências bibliográficas 149

Apêndices 156

I. Introdução


Vou explanar-ta nestes poucos versos.
Da materia os principios, elementos
Das coisas todas de que consta o mundo,
São por essencia solidos e eternos.
Provado está que a natureza consta
De duas coisas entre si diversas,
O corpo, e o espaço em que reside o corpo.
Logo, cada um independente existe:
Lá onde o corpo está, não ha espaço;
Onde o espaço se amplia, o corpo falta.

"De que são feitas as coisas? Se eu dividir esta mesa aqui em pedacinhos cada vez menores, ainda conseguirei dividir o menor pedaço obtido em pedaços menores ainda? Qual é o limite da divisão da matéria?"

Dentre todos os questionamentos que intrigam o homem, a dúvida sobre o que constitui as coisas é uma das mais antigas e mais excitantes. Tal questão é capaz de mobilizar a curiosidade e o pensamento; ou direcionar programas de pesquisa de diversos acadêmicos em torno delas, fazer nações investirem pesado na construção de equipamentos como o LHC (Large Hardron Collider). Afinal, de que somos feitos? E de que são feitas as coisas?

O trecho em destaque acima à esquerda é um extrato[1] do poema *De Rerum Natura* (Sobre a Natureza das Coisas) de Tito Lucrecio Caro (99 a.C. – 55 a.C.), um filósofo grego que escreveu em forma de um longo poema o resultado da racionalização dele e de outros filósofos daquela época e de épocas anteriores – como Leucipo (séc. V a.C.), Demócrito (460 a.C. – 370 a.C) e Epicuro (341 a.C. – 270 a.C.) – sobre a constituição dos corpos. É, portanto, uma resposta à pergunta que já se fazia naquela época, sobre a constituição da matéria. No entanto, o excerto à direita foi um dos muitos questionamentos feitos em sala de aula por professores meus que me motivaram a buscar a ciência como caminho. Perguntas que nem sempre tiveram respostas imediatas e evidentes (essa peculiaridade muitas vezes foi ressaltada pelos meus mestres), fato que me aguçou ainda mais a curiosidade e despertou-me definitivamente para a potencialidade do papel de professor como responsável por instigar os seus alunos a pensar o mundo natural, seja de forma social, histórica, científica ou filosoficamente.

[1] CARUS, Titus Lucretius. *A natureza das coisas: Poema de T. Lucretius Caro traduzido do original Latino para verso português, por Antonio José de Lima Leitão*. Typ. de Jorge Ferreira de Matos, (T. II. AJF Lopes), 1851. Canto I, página 83. Disponível gratuitamente em: < *http://books.google.com.br/books?id=3d49AAAAcAAJ&ots=x2taEmQ_dQg&lr&hl=pt-BR&pg=PR50#v=onepage&q&f=false* >. Acessado em 15/01/2014.

Entretanto, a realidade de boa parte das salas de aula atualmente não é um ambiente fértil para o questionamento e, por conseguinte, é de se esperar que não seja um ambiente favorável à construção do conhecimento, já que o "todo conhecimento é resposta a uma pergunta. **Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico.** Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído." (BACHELARD, 2002: p. 12. Grifo nosso.) Os motivos para que a sala de aula e o ambiente escolar em sentido *lato* não sejam esse solo fértil para o questionamento são diversos e amplamente documentados pela literatura nacional: vão desde as políticas públicas para a educação inadequadas (incluídas aí a política salarial, falta de provimento de infraestrutura para as escolas, subfinanciamento público da educação, estabelecimento de metas alinhadas com pensamentos já superados na gestão educacional, entre outros), até a má formação inicial e continuada de professores, passando pela utilização de estratégias de ensino-aprendizagem pouco articuladas com a boa literatura. (FOUREZ, 2003)

Em particular, alguns autores apontam que a educação científica brasileira é fortemente influenciada por uma concepção dogmático-instrumental de ensino e do próprio conhecimento (BRAGA, GUERRA, REIS, 2008). Isto é, os conteúdos conceituais são apresentados de forma que não admite questões, tratando o conhecimento como pronto e acabado (*op. cit.*). Está claro que este tipo de concepção, ao apresentar o conhecimento como pronto e não passível de questionamento, não induz a uma reflexão aprofundada sobre a ciência, além de distanciar o conhecimento científico da realidade do aluno e empobrecer o ambiente escolar. Em sentido contrário, novas concepções sobre o que é a educação científica têm a preocupação de levar em conta o contexto histórico em que os conteúdos científicos são produzidos de forma a discutir além dos conteúdos científicos propriamente ditos, a Natureza da Ciência (NdC), isto é, os processos e características próprias do contexto de produção e publicização[2] da ciência (MATTHEWS, 1995; PRAIA, GIL-PÉREZ, VILCHES, 2007). Com vistas a fomentar discussões em torno à NdC, alguns autores defendem ser fundamental explicitar na educação científica as diferentes controvérsias histórico-científicas, presentes no desenvolvimento da ciência (BRAGA, GUERRA, REIS, 2012).

[2] Optei por "publicização" em vez de publicação para diferenciar da simples publicação acadêmica. Por "publicização" quero expressar e ressaltar os meios pelos quais a ciência é divulgada tanto no meio acadêmico como para o grande público. A variação adjetiva "publicizado" já é dicionarizada por dicionários como o Caldas Aulete. Ver em < http://aulete.uol.com.br/publicizado >. Acessado em 15/01/2014.

No âmbito da química escolar, muitos educadores e pesquisadores destacam que o ensino e a aprendizagem de modelos atômicos apresentam dificuldades (MELO, LIMA NETO, 2013) e os livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático no Ensino Médio (PNLEM) fazem uma apropriação muito tênue, praticamente nula, a respeito das controvérsias científicas em relação ao desenvolvimento dos modelos atômicos (MOURA, GUERRA, 2013). O tema “modelos atômicos”, apesar de ser recorrentemente abordado de forma histórica (o que pode ser constatado em uma breve análise dos livros cadastrados no PNLEM) e em geral ser praticamente o único conteúdo onde essa abordagem é utilizada (CHAVES, 2011), não traz nesta abordagem histórica uma visão de ciência de acordo com a historiografia atual da ciência, de acordo com pesquisa dos livros didáticos credenciados para distribuição pelo governo em 2007 (*op. cit.*) e também segundo podemos inferir a partir da análise feita por Moura e Guerra em livros didáticos mais atuais (PNLEM 2013). Este cenário nos alarma para a evidência de que a despeito de todos os esforços envidados pela comunidade de ensino de ciências e todo o conhecimento produzido a respeito deste tema, talvez esta contribuição acadêmica não esteja chegando às salas de aula.

Como veremos na reconstrução histórica do capítulo 4, a trama do desenvolvimento dos modelos atômicos na virada do século XIX para o século XX é bem mais complexa que a breve seleção de alguns modelos, que é feita pelos livros didáticos de química. Qual a justificativa de abordar o modelo atômico de Rutherford e esquecer o modelo de Nagaoka, por exemplo, cujo impacto científico foi maior? Que tipo de visão de ciência essa seleção de conteúdos e essa forma de contar a história feita pelos livros didáticos ajuda a promover? Não é escopo desse trabalho investigar as circunstâncias que levaram à atual abordagem tida como tradicional (com os mesmos atores sociais e modelos evidenciados) para o ensino de modelos atômicos, mas sim de propor uma abordagem alternativa que sirva à melhor explicitação do contexto sócio-cultural para a discussão de alguns aspectos da construção da ciência.

Observe-se que, a princípio, o enfoque histórico-filosófico poderia ser utilizado em outro tema qualquer do currículo de química para abordar questões sobre NdC, mas por que escolher justamente o tema de modelos atômicos, que já é um tema tratado historicamente? Acreditamos que o nosso papel deve ser contra-hegemônico neste sentido: estamos nos posicionando contra uma visão simplista e linear da ciência, feita por grandes gênios, o que significa ir contra o uso da história da ciência como um suporte para legitimar esta visão de ciência. Logo, a escolha de um tema que tem (vias de regra) um tratamento histórico que é inadequado, conforme constatado em pesquisa com livros didáticos (MOURA, GUERRA, 2013) estaria

ajudando a desconstruir determinados mitos sobre a ciência e ajudando a estimular o pensamento crítico sobre a mesma.

Levando em conta essas considerações, construímos uma pesquisa com vistas a criar subsídios para responder a seguinte pergunta: *Que questões sobre a Natureza da Ciência e, em particular, sobre o processo de construção cultural da ciência podem ser discutidas em nível médio com a introdução de personagens históricos do final do século XIX e início do século XX tradicionalmente inexplorados no ensino de modelos atômicos?*

Dessa forma, as questões aqui apresentadas serão aprofundadas nos capítulos posteriores, com vistas a cumprir os objetivos centrais deste trabalho:

- A partir de referenciais de história e filosofia da ciência no ensino (entre outros), construir uma abordagem didática para os modelos atômicos que traga à luz o contexto e personagens históricos tradicionalmente inexplorados na química do ensino médio com o objetivo de discutir aspectos de Natureza da Ciência.
- Aplicar a sequência didática (SD) construída, analisando através de metodologia adequada o alcance dos objetivos epistemológicos traçados para a SD.
- A partir da análise da aplicação da SD, discutir as potencialidades e desafios da abordagem construída.

A dissertação está, então, organizada em 6 capítulos, mais referências bibliográficas. No capítulo 2, após esta introdução, apresentamos algumas discussões a respeito do que se entende por NdC, qual o papel da história e da filosofia da química na abordagem sobre NdC e suas implicações para o ensino de química e de ciências, além de apontar alguns posicionamentos diante da literatura utilizada nesse trabalho.

O capítulo 3 é a descrição metodológica e no capítulo 4, fazemos um panorama histórico do desenvolvimento dos modelos atômicos no período escolhido para construção da sequência didática, procuramos destacar os pontos-chave para a nossa abordagem e delineamos os contornos históricos escolhidos para a sequência didática.

No capítulo 5, fazemos uma descrição da construção dos materiais didáticos para a aplicação da sequência e a análise dos resultados obtidos da aplicação.

O sexto e último capítulo traz as considerações finais e implicações para a área de ensino de química e para trabalhos futuros.

Boa leitura!

II. Algumas considerações iniciais

II.1 Natureza da ciência e da química

Nos últimos anos, a busca por um ensino de ciências mais eficaz para a formação de cidadãos tem apontado para a necessidade de incluir nos currículos de ciências o ensino sobre ciências, isto é, sobre seu funcionamento interno. Dessa forma, defende-se um ensino de ciências que traga discussões sobre a inter-relação do conhecimento científico produzido em determinada época com seu respectivo contexto sócio-histórico-cultural (ALLCHIN, 2011; MARTINS, 2006). Com a crescente importância da ciência e da tecnologia nas políticas públicas e na própria vida das pessoas, o mero conhecimento dos conteúdos é julgado por alguns pesquisadores insuficiente para a participação destes cidadãos na sociedade (ALLCHIN, 2011; OSBORNE *et al*., 2003). Essa busca vai ao encontro de ideias já expressas nos Parâmetros Curriculares Nacionais, em especial para o ensino de química, onde podemos encontrar que

> *"O aprendizado de Química pelos alunos de Ensino Médio implica que eles compreendam as transformações químicas que ocorrem no mundo físico de forma abrangente e integrada e assim possam julgar com fundamentos as informações advindas da tradição cultural, da mídia e da própria escola e tomar decisões autonomamente, enquanto indivíduos e cidadãos."* (BRASIL, 2000)

Um caminho possível para a formação cidadã é através da discussão sobre aspectos da construção da ciência; neste sentido, vem se consolidando nos últimos anos a utilização de uma concepção de educação científica baseada no conhecimento sobre a ciência, chamada como "natureza da ciência" (NdC), que representaria uma convergência tanto das questões sobre como funciona a ciência, sua construção social, como também dos fatores extracientíficos que influenciam o desenvolvimento do conhecimento científico e são por ele influenciados. McComas (2008) define Natureza da Ciência como (tradução nossa):

> *"Um domínio híbrido que combina aspectos de vários estudos sociais da ciência, incluindo história, filosofia e sociologia da ciência combinados com a pesquisa das ciências da cognição, como a psicologia, em uma rica descrição da ciência; como ela funciona, a forma de operar dos cientistas, enquanto um grupo social; e como a própria sociedade tanto dirige como reage aos empreendimentos científicos"*

Estudos sobre o que caracteriza NdC foram levados a cabo por diversos grupos de pesquisa e, com base nestes estudos, construiu-se uma lista de aspectos que caracterizariam consensualmente o que é ciência e como ela funciona. Esta lista é atribuída principalmente a N. G. Lederman, J. Osborn, W. F. McComas (além de outros pesquisadores) Segundo esses autores, a NdC pode ser identificada por algumas ideias-chave (McCOMAS, 2008), resumidas abaixo:

- A ciência produz, demanda e baseia-se em evidências empíricas;
- Experimentos não são a única rota para o conhecimento. A ciência usa tanto a indução quanto o teste hipotético-dedutivo. Não há um passo-a-passo pelo qual a ciência se faz;
- Na ciência, há períodos de “ciência normal” e “revolução”, como descrito pelo filósofo Thomas Khun;
- O conhecimento científico é tentativo, durável e autocorretivo;
- Leis e teorias estão relacionadas, mas são tipos distintos de conhecimento científico;
- A ciência tem um componente criativo;
- As ideias e observações são baseados em teorias;
- Há influências históricas, culturais e sociais nas práticas e na direção da ciência;
- Ciência e tecnologia impactam-se entre si, mas não são a mesma coisa;
- A ciência e os seus métodos não podem responder a todas as questões.

No entanto, muitas críticas foram feitas à chamada “visão consensual” sobre a NdC, representada pela lista de características resumida acima. Algumas críticas feitas por Irzik e Nola (2011) falam sobre a existência de diferenças que os diversos campos do conhecimento possuem entre si, isto é, para os autores, há ciências que não compartilham de aspectos desta lista consensual. Por exemplo, a astronomia e a cosmologia são muito diferentes da química no que diz respeito ao papel da experimentação no seu desenvolvimento. Outras críticas apontam que é difícil sustentar a ideia de que a ciência é autocorretiva se não há um método ou uma sequência de regras pela qual se constrói o conhecimento científico, ou ainda, que a lista consensual passa a ideia de que a NdC é imutável independente do tempo, isto é, que a mudança em sua “natureza” não é possível, o que encontra refutação na própria história da ciência (IRZIK, NOLA, 2011).

Allchin (2011) traz para o debate a necessidade de que os cidadãos aprendam como a ciência funciona com o objetivo de interpretar a confiabilidade das informações científicas para a tomada de decisões. Nesse caminho, o autor critica a lista

consensual já que esta não é dirigida à educação para a tomada de decisões envolvendo temas científicos. Para Allchin, o entendimento de NdC precisa ser funcional, e não apenas declarativo. E, nesse sentido, ele questiona a importância de algumas questões do V-NOS[3] (LEDERMAN et. al, 2002), que é o instrumento de avaliação do conhecimento sobre a ciência desenvolvido com base na visão consensual de NdC. Por exemplo, qual seria a importância (tendo em vista os objetivos defendidos por Allchin para a abordagem de NdC) de saber diferenciar uma lei de uma teoria, ou ainda, saber definir o que é um experimento? Esse tipo de questão, segundo Allchin, é secundária uma vez que não auxilia verdadeiramente os alunos na análise da confiabilidade da informação científica para a tomada de decisões. Allchin acredita, portanto, que uma educação científica que segue o paradigma da lista consensual a respeito da NdC representaria apenas a adição de novos conteúdos no currículo, não contribuindo para a formação de autênticos cidadãos (ALLCHIN, 2011).

Assim, como Allchin, defendemos neste trabalho que o ensino sobre a ciência não deve ser apenas mais um conteúdo e muito menos algo somente declarativo. Em seu lugar, o ensino sobre a NdC deve servir a objetivos que procurem dar contribuições mais efetivas à formação cidadã do que nosso atual ensino de química, que é marcado por ser muito tradicional. Concordando em linhas gerais com Schnetzler (2010, p. 57), definimos aqui como tradicional um ensino centrado na veiculação de conteúdos teóricos dissociados de sua natureza experimental e das suas relações com o contexto sócio-histórico-cultural, negligenciando, dessa forma, seu caráter investigativo e tentativo, além de suas relações de influência mútua com a sociedade. (*op. cit.*).

Irzik e Nola (2011) também dão uma contribuição importante ao revelar algumas incoerências da lista de características a respeito da NdC. Acreditamos que estas falhas ou incoerências da lista são uma consequência da falta de consenso a respeito do que é ciência (*op. cit.*). Como aponta Ziman, apesar dos seus esforços, os filósofos da ciência simplesmente não foram capazes de chegar a uma definição satisfatória da ciência (ZIMAN *apud* OSBORNE *et al*, 2003). Portanto, a compreensão completa a respeito das características da ciência estaria comprometida e só seria acessível por meio de algumas aproximações, como defende Irzik e Nola (2011).

[3] O V-KNOS é composto por formulários contendo de 7 a 10 questões com resposta aberta destinados a avaliar os conhecimentos de estudantes e professores de diversos níveis sobre as questões da lista consensual sobre NdC. Os questionários são validados a partir da resposta de especialistas e necessitam de uma avaliação conjunta com uma entrevista semiestruturada para elucidar o conteúdo e as intenções das respostas dos entrevistados.

Entretanto, neste trabalho, para nossos objetivos e escopo, podemos nos afastar desta discussão uma vez que, como veremos à frente, os aspectos de NdC escolhidos são ponto pacífico neste debate e estaremos trabalhando dentro de uma disciplina de química em nível médio, delimitando nosso universo, portanto, aos aspectos da ciência química e não das ciências no sentido *lato*.

II.2 Discutir NdC no ensino de química passa por um tema atual e polêmico: a filosofia da química

Recentemente, emerge na área de filosofia da ciência o campo de filosofia da química, que traz fortes implicações para a educação em química. Esse campo bastante recente, cujas primeiras iniciativas de organização datam, aproximadamente, do ano de 1997, com a criação da *International Society for the Philosophy of Chemistry*, (LABARCA, BEJARANO, EICHLER, 2013) trata da discussão a respeito das implicações (e complicações) filosóficas de conceitos químicos que são corriqueiros na pesquisa e no ensino de química. Há diversas questões bastante debatidas no âmbito desta disciplina, porém a discussão mais acalorada é a respeito do reducionismo da química à física (WEISBERG; NEEDHAM, 2010; LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013; THALOS, 2013). Discutem-se os movimentos históricos que levaram a uma visão de que a química poderia ser reduzida à física por meio da físico-química, após a ascensão da física quântica. Isto é, a química seria um estudo supérfluo (DINGLE *apud* THALOS, 2013) já que tanto os objetos de estudo da química seriam também objetos da física (redução ontológica), de forma que suas teorias poderiam ser deduzidas das teorias da física (redução epistemológica) (LABARCA; BEJARANO, EICHLER, 2013; LOMBARDI, LABARCA, 2007).

São diversos os argumentos utilizados na defesa da autonomia da química frente à física: alguns recaem sobre os objetos da química, que seriam autônomos em relação aos da física, ou seja, a química teria sua própria ontologia (LOMBARDI; LABARCA, 2005). Outros argumentos ressaltam que a química é munida de práticas, técnicas, e cultura próprios que a filósofa Mariam Thalos (2013) chamou de “lentes da química”; isto é: a química enfoca determinados aspectos da matéria que não são explorados a fundo pelas outras ciências, ao passo que deixa de fora determinados aspectos que são determinantes para o estudo da física, por exemplo, o que caracterizaria o seu não-reducionismo epistemológico.

Allchin (2014) destaca que tais discussões a respeito do não-reducionismo da química e da biologia à física, embora seja um assunto bastante popular entre filósofos da ciência, não seriam relevantes aos professores de ciências do ensino básico, já que estes não são nem professores de história nem tampouco de filosofia, estando este tema além do escopo de formação para a cidadania, conforme concebida por ele (e já mencionada no início desta seção).

Talanquer (2013), no entanto, faz uma importante contribuição a este debate. Para ele, o aprofundamento do entendimento das particularidades da química enquanto ciência, a análise das diferenças e similaridades entre as diversas ciências a respeito da natureza do seu conhecimento, das formas de pensar, da abordagem experimental da química e das outras disciplinas, ajuda-nos a entender melhor a natureza distinta da química. Tomando emprestado de outro contexto um conceito de Silva (2011): é por meio da diferença que se concebe e conhece a identidade. A química possui características muito particulares que unem nesta atividade a busca científica e as aplicações tecnológicas, o que tem implicações diretas no que diz respeito à natureza do seu conhecimento. (TALANQUER, 2013) A química seria, segundo o autor, a representante mais emblemática do que chamamos de tecnociência. Essa denominação pretende caracterizar a ciência que vem se desenvolvendo especialmente após a Segunda Guerra Mundial, em que pode-se afirmar que a ciência sofreu uma mutação, hibridando-se com a engenharia e a tecnologia e criando sistemas de P&D (pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico) o que vem trazendo mudanças inclusive na forma como os filósofos racionalizam sobre a ciência (ECHEVERRÍA, 2010). No caso específico da química, Talanquer (2013) destaca (tradução nossa):

> *"Os químicos não estão interessados somente em desenvolver uma descrição mecanística e coerente dos fenômenos naturais, um dos objetivos centrais do ensino por investigação (scientific inquiry) [citação no original: Hammer et al, 2005], mas também olhar para o processo de criação e para o conhecimento que as pessoas podem usar para estender suas habilidades e satisfazer as suas necessidades e vontades, o objetivo central do desenvolvimento tecnológico [citação no original: ITEA, 2007]. De diversas maneiras, os químicos atuam para entender a natureza através de sua transformação; os seus objetivos centrais não são apenas descrever, explanar e predizer propriedades e comportamento de substâncias químicas, mas transformá-las e criar novas entidades químicas com aplicações em potencial. Químicos aprendem sobre a natureza através de artefatos de sua própria criação; eles desenvolvem o conhecimento e o entendimento isolando, analisando e sintetizando substâncias materiais [citação no original: Hoffmann, 1993, 1995]"* (TALANQUER, 2013)

Somado a estas características de produzir o próprio objeto e ter uma forte relação com o desenvolvimento tecnológico, a química ainda produz anualmente a mesma quantidade de artigos científicos que todas as outras ciências sociais e da natureza juntas (SCHUMMER, 1999), o que reforça enormemente o impacto dessa ciência na sociedade.

É inegável a grande contribuição da filosofia da química sobre o entendimento da natureza desta ciência, e, sobretudo, para dimensionar a importância da química (e, por conseguinte, de seu estudo) na sociedade atual. Muitos dos problemas ambientais, ecológicos, energéticos, materiais e sociais têm entre seus subsídios para a resolução o desenvolvimento da química. No entanto, neste trabalho, concordamos com a perspectiva de Allchin (2014) quando afirma que este tipo de discussão a respeito do reducionismo não é cabível em uma sala de aula de nível básico. É importante o aprofundamento dos estudos em filosofia da química para identificar os diversos aspectos e idiossincrasias diversas da natureza da química e mesmo contribuir com o conhecimento tácito dos professores de química sobre os construtos teóricos desta ciência. Porém alguns dos principais aspectos de NdC necessários a uma educação científica para a tomada de decisões baseado na análise da confiabilidade da informação científica, quais sejam, entre outros, a compreensão da ciência como um empreendimento humano, seu caráter tentativo e provisório, sua forma não-linear de desenvolvimento, suas relações com o meio sócio-histórico-cultural, são pertencentes ao universo químico assim como de a outros ciências, de modo que não há necessidade de aprofundar em sala de aula (especialmente para o escopo desta pesquisa) o entendimento sobre aspectos específicos da ciência química. Isso não significa que optamos por trabalhar os aspectos da lista consensual, tais como diferença entre leis e teorias; o papel da experimentação entre outros, mas apenas que para esse trabalho não abordaremos em sala de aula as discussões em torno a filosofia da Química. Não se pode perder de vista os objetivos do ensino sobre NdC na educação básica, de sorte que, embora sejam muito bem-vindos os avanços na compreensão da natureza da química enquanto ciência autônoma, este interesse não deve se sobrepor ao principal interesse que é a compreensão da ciência de uma forma menos ingênua, isto é, incluindo questões a respeito de sua construção.

II.3 Enfoques explícitos VS. Enfoques implícitos na abordagem de NdC

Outra questão que é bastante sensível na abordagem de NdC em nível médio trata-se do tipo de enfoque escolhido para esta abordagem. Alguns autores costumam classificar basicamente em duas abordagens possíveis para falar de NdC: são elas o enfoque implícito e o enfoque explícito (ACEVEDO DIAZ, 2009; OKI; MORADILLO, 2008). O enfoque implícito se caracteriza por promover a compreensão de NdC por meios indiretos, isto é, engajando o aluno em atividades de investigação que se aproximam da pesquisa científica. Espera-se que, por meio de experiências adequadas em sala de aula, os alunos possam familiarizar-se com os processos da ciência, adquirindo assim a compreensão sobre o que é a ciência e sobre como ela funciona. No entanto, este paradigma vem sendo questionado em virtude da falta de suporte empírico à proposta (ACEVEDO DIAZ, 2009; LEDERMAN et. al, 2002). Podemos entender os resultados insuficientes desta abordagem da NdC a partir das ideias do filósofo Thomas Khun. Para ele, os cientistas quando vivenciam períodos de ciência normal, abstraem-se de analisar criticamente seus fundamentos teóricos, conceituais, metodológicos e instrumentais e é esta adesão estrita e dogmática a um paradigma que permite o avanço científico, pois assim podem concentrar-se em problemas de pesquisa de sua área. (OSTERMANN, 1996). Portanto, se mesmo os cientistas mais experientes podem não ter uma compreensão epistemológica razoável dos processos científicos em um período de ciência normal, como esperar que os alunos a adquiram implicitamente através do engajamento em situações que são apenas aproximações do fazer científico e não o processo em si?

Mais recentemente, há uma proposta que também se utiliza do engajamento dos alunos em atividades de investigação, porém sob outra perspectiva epistemológica, que Abd-El-Khalick (2013) chama de ensinar **com** NdC. O autor defende que professores que possuem conhecimentos sólidos a respeito de NdC estão mais habilitados a criarem ambientes de investigação mais próximos da pesquisa científica autêntica, férteis, portanto, para promover a discussão explícita de aspectos de NdC. Seria, resumidamente, uma abordagem explícita sobre NdC, mas incluindo processos de investigação aproximados ao fazer científico.

A abordagem explícita ou explícita-reflexiva (ou ainda, ensinar **sobre** NdC) é apontada por algumas pesquisas como responsável por proporcionar bons resultados sobre o conhecimento de alunos (e também de professores) a respeito de NdC. (ACEVEDO DIAZ, 2009) Uma abordagem explícita de conteúdos sobre NdC implica a

inclusão de objetivos específicos nos planejamentos de atividades didáticas destinadas a desenvolver o entendimento dos alunos sobre NdC, da mesma forma que os outros conteúdos científicos teóricos ou conceituais, ou seja, não deve ser um mero efeito marginal de alguma atividade, mas sim ser um dos focos desta atividade. É importante que se proponham na atividade oportunidades e elementos para reflexão sobre o desenvolvimento e validação do conhecimento científico, além de outras características sobre a ciência (ABD-EL-KHALICK, 2013; ACEVEDO DIAZ, 2009). Note-se que a abordagem explícita não define meios para ser implementada, o que pode variar em função de diversos fatores, como os próprios objetivos da atividade, ou as características, atitudes, habilidades e competências dos alunos, recursos avaliativos e o contexto educacional de uma forma geral (ABD-EL-KHALICK, 2013). O ponto-chave é que os alunos sejam levados a participar de debates em que possam refletir sobre o processo de construção da ciência e mesmo sobre suas próprias respostas aos questionamentos levantados em sala, problematizando-as (ACEVEDO DIAZ, 2009).

A respeito destes caminhos, optamos neste trabalho pela abordagem explícita de conteúdos de NdC, porém observadas as recomendações de Allchin (2011) para evitar o ensino meramente declarativo. Para isso, buscamos propor atividades dinâmicas que procuram engajar o aluno e fazê-lo, por meio da história e filosofia da ciência, refletir sobre os aspectos levantados na revisão histórico-bibliográfica feita no capítulo 4.

II.4 História e Filosofia da Ciência como estratégia didática para o Ensino de Química

Dada a necessidade de incluir nos currículos o ensino sobre a ciência, *i.e.*, sobre NdC, uma questão que se levanta é: que estratégia ou quais estratégias podemos utilizar para atingir este objetivo?

Em seu artigo de 1995, Matthews fala sobre a tendência de reaproximação entre história, filosofia e o ensino de ciências. O autor aponta como sintoma dessa aproximação a inclusão em currículos de ensino básico (àquela época) de alguns objetivos que advogavam uma abordagem mais contextualizada para o ensino de ciências, isto é, onde as ciências sejam ensinadas em seus diversos contextos: ético,

social, histórico, filosófico e tecnológico, com busca da compreensão da ciência como um produto do pensamento e da cultura humanas. Essa tendência apontada por Matthews cresceu e hoje encontramos ecos nos nossos próprios Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio de ciências. Nos Parâmetros Curriculares de Química, lemos:

> *Na interpretação do mundo através das ferramentas da Química, é essencial que se explicite seu caráter dinâmico. Assim, o conhecimento químico não deve ser entendido como um conjunto de conhecimentos isolados, prontos e acabados, mas sim uma construção da mente humana, em contínua mudança. A História da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear todo o ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos.* (BRASIL, 2000)

Conforme Porto (2010) destaca, esse discurso a favor da inclusão da história da química no currículo não é algo exclusivo do documento atual – ele já aparecia na reforma de Francisco Campos na Educação, nos anos 30, por exemplo. No entanto, o perfil historiográfico que se podia depreender do texto daquela época era bem diferente do documento atual: antes, uma história da ciência linear, com contribuição de grandes gênios e sempre contribuindo para o progresso e desenvolvimento das nações; agora, com a nova historiografia, ficam evidentes os avanços, sim, mas também os erros e conflitos, bem como o caráter de conhecimento socialmente produzido (PORTO, 2010).

Continuando no PCNEM de química, podemos observar ainda sua preocupação com aspectos da NdC:

> *A consciência de que o conhecimento científico é assim dinâmico e mutável ajudará o estudante e o professor a terem a necessária visão crítica da ciência. Não se pode simplesmente aceitar a ciência como pronta e acabada e os conceitos atualmente aceitos pelos cientistas e ensinados nas escolas como "verdade absoluta". (...) Tampouco deve o aluno ficar com impressão de que existe uma "ciência" acima do bem e do mal, que o cientista tenta descobrir. A ciência deve ser percebida como uma criação do intelecto humano e, como qualquer atividade humana, também submetida a avaliações de natureza ética.* (BRASIL, 2000)

Fica evidente no texto a preocupação com a visão crítica de ciência, com questões éticas e até mesmo políticas do conhecimento sobre a ciência, uma vez que se estimula o ensino acerca destes aspectos justamente para que os estudantes

possam pensar sobre a ciência e intervir em decisões políticas envolvendo temas científicos. No texto do PCNEM destacado acima, observamos a preocupação em não ensinar a ciência como pronta e acabada ou como “verdade absoluta”. Esta preocupação é também compartilhada por Chamizo e Garritz (2014). Para eles, é importante frisar que o conteúdo dos livros didáticos é, em sua maioria, composto de uma ciência bem datada e localizada historicamente e não a ciência de fronteira. As referências à história vêm aos poucos desaparecendo dos livros didáticos para dar lugar a um conteúdo cada vez maior, resultado do desenvolvimento científico e suas aplicações tecnológicas. Os professores, que costumam ter no livro didático a sua principal (ou única) fonte de informação acabam, assim, alienando os conteúdos do seu contexto histórico e se tornando, paradoxalmente e sem querer, professores de conteúdos obsoletos (professores de história, nas palavras de Chamizo e Garritz), já que aquele conhecimento muitas vezes foi superado e, nem de longe, representa a “verdade absoluta” que este modelo de ensino e sua cultura didática transparecem.

Uma noção importante para este trabalho é a de cultura didática, que é concebida como a cultura de ensino de determinada disciplina como física, biologia ou a química. (HOTTËCKE, SILVA, 2011) Nessa cultura estão incluídas formas de comunicação em sala de aula, processos, métodos, estratégias de ensino-aprendizagem corriqueiros para determinada comunidade disciplinar, os conteúdos considerado indispensáveis e os considerados adicionais, assim como expectativas, hábitos e ênfases curriculares. (*op. cit.*) Este conjunto de características que compõem a cultura didática disciplinar afetam tanto os atos e escolhas do professor da disciplina, como também as expectativas dos alunos sobre o que é a disciplina química e como deve ser uma aula de química.

E, então, chegamos a mais um dilema: com a demanda para inclusão de história e filosofia da ciência no ensino, sob que bases fazer isso? Não se corre o risco de que as aulas tornem-se espaços de discussão de história e filosofia sem que os professores de ciências tenham formação adequada para tal? E como incluir mais conteúdo (ou adensá-lo) em nossos currículos já tão inchados? Iniciando pela última pergunta, segue uma tentativa de resposta a estas questões.

Em primeiro lugar existe praticamente um consenso entre os pesquisadores em ensino de ciências sobre a necessidade de se ensinar menos para que nossos alunos possam aprender mais. Com a quantidade de conteúdos que existe em nossos planos de curso hoje, acaba-se falando demais sem que os sentidos possam ser construídos pelos alunos; e então caímos no “mar de falta de significado” de que nos fala

Matthews (1995). Portanto, é necessário que nós, enquanto professores, tenhamos clareza de quais os objetivos pretendemos atingir através da disciplina que ministramos, para então selecionar os conteúdos, estratégias e métodos que melhor se adequem a este objetivo, que deve ser o alvo e não uma consequência ou um efeito secundário da preleção de conteúdos técnicos.

Em segundo lugar, cabe ressaltar que a proposta não se trata de transformar os cursos de ciências do ensino básico em cursos de história da ciência. Deve-se sempre ter em mente o objetivo de trabalhar história da ciência neste nível de ensino, que é a formação integral do aluno, incluindo a formação de uma visão de ciência menos ingênua. E novamente, não advogamos a respeito de uma ou outra concepção filosófica de ciência, mas apenas que o aluno possa aprender a pensar criticamente e utilizar esse pensamento crítico para avaliar a confiabilidade de informações científicas em situações reais (ALLCHIN, 2011).

Para cumprir esse objetivo, não é necessário utilizar a abordagem histórico-filosófica o tempo todo durante o curso. Alguns conteúdos, inclusive, podem se articular de forma mais adequada a outras abordagens, como a abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) (PINHEIRO, SILVA, BAZZO, 2007) ou a experimentação problematizadora (FRANCISCO JUNIOR, FERREIRA, HARTWIG, 2008). Como aponta Martins (2006), “o estudo detalhado de alguns episódios da história da ciência é insubstituível, na formação de uma concepção adequada sobre a NdC, suas limitações, suas relações com outros domínios”. Ou seja, para o estudo de NdC a partir de uma estratégia que utilize a história e filosofia da ciência, acredita-se que o método dos estudo de caso seria mais efetivo; Porto (2010) compartilha desta ideia e define como estudo de caso uma “análise, com certa profundidade, de algum episódio bem delimitado da História da Ciência”. Ele destaca ainda que é diferente trabalhar com estudos de caso e empregar a história da ciência apenas para “ilustrar” algum conteúdo estudado, como datas, nomes, curiosidades sobre a vida pessoal de cientistas, entre outros. Este tipo de inserção de história da ciência, argumenta o autor, não contribui à contextualização de fato destes episódios, não servindo, portanto, nem à aprendizagem do conteúdo nem tampouco à compreensão do processo de construção da ciência.

O estudo de caso histórico pressupõe apresentação de forma não superficial do contexto das ideias surgido na época, dos problemas, das hipóteses discutidas, dos fatores que levaram ao abandono ou aceitação de uma hipótese em detrimento da outra (PORTO, 2010). Esmiuçar estes casos sob este enfoque pode ajudar o aluno a

compreender diversas nuances e particularidades do empreendimento científico, dentro, portanto, do espírito de ensino sobre a ciência e sua natureza, do qual falamos na seção anterior.

A terceira pergunta, “sob que bases fazer isso?”, é bastante abrangente e poderíamos respondê-la de várias formas. Porém aqui nos deteremos aos pressupostos teóricos para a inclusão de história e filosofia da ciência no ensino e os seus desafios na efetiva aplicação em sala de aula. A esse respeito, Forato, Martins e Pietrocola (2011) listam 7 desafios à implementação de propostas de inclusão de História e NdC em sala de aula, os quais listamos a seguir, com pequenas explicações a respeito de cada um:

1. **Seleção do conteúdo histórico**, que diz respeito à adequação do conteúdo histórico selecionado frente aos objetivos didáticos e epistemológicos traçados para a atividade.

2. **Tempo didático**, onde alerta para o fato de que a abordagem histórica deve ser pensada de modo a acomodar aspectos como o tempo necessário para a compreensão do conteúdo sobre a ciência, bem como seu lugar dentro do planejamento global. Está, portanto, intimamente relacionado ao item 1.

3. **Simplificação e omissão**: os dois primeiros fatores determinarão a necessidade de simplificar determinados conteúdos da abordagem histórica, no entanto é necessário que se escolha com critérios o conteúdo a ser omitido ou simplificado para não incorrer em problemas historiográficos.

4. **Relativismo**, fala do cuidado com a possibilidade de cair em um relativismo extremo ao construir abordagens que vão de encontro ao paradigma empírico-indutivista comum no ensino de ciências tradicional.

5. **Inadequação dos trabalhos históricos especializados**: os autores ressaltam que os trabalhos de historiadores da ciência, por atenderem a requisitos próprios de sua área, são inadequados para serem trabalhados diretamente com os alunos.

6. **Supostos benefícios das reconstruções históricas lineares**: muito comum nos livros didáticos, este tipo de abordagem linear não serve à discussão de conteúdos sobre a ciência por trazer consigo uma visão

ingênua de construção da ciência, e, em geral, configuram-se como pseudo-história.

7. **A falta de formação específica do professor**, que constitui um dos maiores obstáculos à implementação de propostas didáticas que incluam a discussão de natureza da ciência por meio de uma abordagem histórico-filosófica.

Todos os desafios listados, sem dúvida, têm uma implicação importante para a abordagem do nosso tema em sala de aula, falando de forma mais genérica e ampla. No entanto, em função do escopo e do contexto da nossa pesquisa, nos deteremos em alguns destes pontos de forma mais específica por serem eles os cruciais para o recorte histórico e a natureza da abordagem escolhida.

A respeito dos pontos 3, 4, 5 e 7, consideramos que a implicação em nosso trabalho é menor em virtude da formação do docente que atuará neste trabalho. Sua formação inclui cursos de nível pós-graduado em História e Filosofia da Ciência, onde estes aspectos foram discutidos com alguma frequência. Assim, partimos do princípio que o docente em questão tem uma formação adequada a respeito dos obstáculos colocados nestes itens e esteve atento às questões em epígrafe quando da construção e aplicação da SD.

Centramos, então, nossa análise nos pontos 1, 2 e 6, que tratam respectivamente da seleção do conteúdo histórico, do tempo didático, e da quebra da linearidade e que consideramos os desafios-chave no desenvolvimento deste trabalho.

No que diz respeito ao conteúdo de modelos atômicos, que é o que trabalharemos nessa dissertação, pode-se dizer que é bastante singular, pois já encontramos em livros didáticos uma abordagem histórica para este tema. No entanto, como observado por Viana e Porto (2012) e Silva *et al* (2013) para o todos os conteúdos de uma forma geral em livros didáticos de química de nível médio e Moura e Guerra (2013) para os modelos atômicos em específico, a apropriação de história da ciência é muito tênue e em geral centrada em pequenas biografias e conteúdos acessórios e que praticamente não são utilizados para favorecer uma abordagem de aspectos de natureza da ciência.

Nesse sentido, seguindo a recomendação de Martins (2006) e Porto (2010), optamos por trabalhar com um estudo de caso histórico que está localizado no período

da virada do século XIX para o século XX, lançando luz sobre um momento histórico em que houve uma grande proliferação de teorias sobre a constituição da matéria e que também há uma grande mudança de pressupostos e estruturas científicas com a ascensão da física quântica e da questão probabilística na ciência. Esse período, também, marca uma grande profusão de discussões polarizadas entre pessoas que defendiam o entendimento da matéria como contínua e suas implicações em diversos campos e outros que defendiam a visão discreta, na esteira do próprio atomismo e do *quantum* de Max Planck (1858 – 1947). Tal polarização atingiu diversos campos como as artes (pintura, literatura), a matemática, a biologia, entre outros, como veremos no capítulo 4.

No entanto, por que escolher exatamente este período histórico? Por que não abordar, por exemplo, a controvérsia acerca do atomismo no século XIX, entre os atomistas que se guiavam pelo modelo de Dalton e os energeticistas e equivalentistas? (OKI, 2009) A nosso ver, embora a controvérsia em torno do atomismo no século XIX também seja bastante forte e clara, a virada do século, por ter uma produção cultural mais disponível, é mais adequada para trabalhar as três características de natureza da ciência escolhidas, conforme serão detalhadas no capítulo 4, mas que já citamos aqui:

1. O entendimento da ciência como produto da cultura humana e de relações complexas construídas em determinadas condições sócio-histórico-culturais.

2. A ciência como um empreendimento coletivo e não como uma descoberta de grandes gênios isolados e dotados de capacidades especiais.

3. A importância dos modelos como um meio de explicar fenômenos que não são diretamente acessíveis e como resposta não-definitiva a perguntas historicamente construídas.

Se observarmos os três aspectos escolhidos encontram na virada do século uma riqueza muito maior do que no decorrer do século XIX. As condições sócio-histórico-culturais são muito mais marcantes (1), a existência de diversas teorias e personagens na história do átomo permite uma compreensão muito mais clara tanto da ciência como empreendimento coletivo (2) quanto do papel dos modelos na química (3). Portanto, podemos dizer que a seleção do período histórico foi precedida pela escolha dos objetivos epistemológicos para este trabalho.

O segundo e sexto obstáculos (“tempo didático” e o “suposto benefício de reconstruções lineares”) colocados por Forato, Martins e Pietrocola (2011) estão, em nosso caso, intimamente ligados. Se fôssemos seguir a linha tradicional, abordando os átomos desde a antiguidade clássica até os modelos quânticos, e, além disso, aprofundando um estudo de caso histórico na virada do século XIX para o século XX, certamente teríamos problemas com o planejamento global da disciplina. Neste sentido, optamos por concentrar nosso estudo apenas neste período histórico, evocando quando necessário os modelos atômicos que antecedem ou sucedem o período escolhido com o objetivo de manter a interlocução entre a produção desta época e os demais períodos da história, mantendo a coerência da narrativa histórica[4] criada como um todo e evitando também suprimir conteúdos que são importantes dentro do currículo de química. A quebra da linearidade no estudo dos modelos atômicos vem, em nosso caso, ajudar no gerenciamento do tempo didático, garantindo que haja tempo suficiente para cumprir nossos objetivos epistemológicos sem, no entanto, atrapalhar o plano de curso de uma maneira geral.

Colocados estes aspectos teóricos a respeito da história da ciência no ensino de química, cabe agora pensar na forma de construção da nossa SD. Uma SD pode ser definida como um “conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelo professor quanto pelo aluno” (ZABALLA *apud* GIORDAN, GUIMARÃES, MASSI, 2011). Sendo assim há uma série de decisões e escolhas sobre a adequação de atividades, conteúdos e recursos didáticos que contribuirão para a concretização dos objetivos educacionais da SD. Observados os cuidados necessários à inserção de história da ciência no ensino conforme foi descrito nesse capítulo, e para ajudar na construção da SD (e as decisões inerentes a essa construção), adaptamos o recurso dos três eixos descrito por Guerra, Braga e Reis (2013) o qual descreveremos brevemente a seguir.

[4] Sempre que empregarmos neste texto a expressão “narrativa histórica”, estaremos nos referindo ao seu sentido mais usual, de narrar acontecimentos, reconstruir uma história com o objetivo de transmitir informações. Não confundir com a metodologia proposta por (entre outros exemplos) Stephen Klassen (ver periódico Science & Education, v. 18, p. 401-423, 2009).

II.5 Os três eixos como uma ferramenta para a transposição didática em abordagens histórico-filosóficas

Antes de descrever a ferramenta dos três eixos, é importante situar de forma mais clara o nível conceitual no qual esta ferramenta irá atuar em nossa interpretação nesta pesquisa. Para isso, evocamos o conceito de transposição didática do francês Yves Chevallard. Para ele, em linhas gerais, a transposição didática consiste no conjunto de transformações de um saber, conhecido como saber a ensinar, até que ele se torne um saber escolarizável, ou seja, um objeto de ensino apto a ser ensinado aos alunos (LEITE, 2004). Uma proposta alternativa parecida a de Chevallard (e que preferimos neste trabalho) é a utilização do termo “mediação didática” em lugar de transposição didática. Segundo Alice Lopes (1999: p. 208-9), o termo “transposição” não é apropriado pois remete à uma ideia de reprodução, de movimento de um lugar ao outro sem alterações, o que não representa bem o conceito de (re)construção de saberes na escola ao qual se refere o termo.

Vale destacar que o conceito transposição didática foi utilizado pela primeira vez por Chevallard para explicar o processo de mediação didática do saber matemático dos expertos para o conhecimento matemático escolar, uma vez que Chevallard era dedicado às questões da didática da matemática. Lopes utiliza a mesma ideia e dá um exemplo na área da química, especificamente sobre os modelos atômicos de sofisticação quântica, que perdem seu significado conceitual e histórico ao serem reduzidos a um problema de preencher orbitais com elétrons, mediante determinadas regras (LOPES, 1999: p. 209).

Em nosso contexto de pesquisa, consideramos que ao criar uma abordagem histórico-filosófica, também há a necessidade de uma mediação didática do saber histórico (produzido por historiadores da ciência) para um saber escolarizado em história da ciência. A linguagem dos historiadores da ciência ou dos artigos originais não é, em geral, acessível a alunos de nível médio, que são nosso público-alvo nesta dissertação. Por isso, é necessária a reconstrução, sob alguns parâmetros, com vistas a alcançar determinados objetivos, evitando perigos historiográficos, mas também favorecendo um recorte histórico que possibilite a discussão dos aspectos de NdC selecionados para esta intervenção didática.

Tendo isso em mente, ao pensar na forma de construção da nossa SD, procuramos nos aproximar da abordagem proposta por Guerra, Braga e Reis (2013), que articula uma proposta de ensino por meio de um fio condutor histórico-filosófico

sobre três eixos: o artístico, o técnico e o científico. Por meio do eixo artístico (que neste trabalho adaptaremos para eixo cultural), mostraremos o contexto cultural do período histórico estudado. Através de obras de arte, imagens históricas, vídeos e outras ferramentas, procuramos delinear este entorno cultural em que se deu o fazer científico. A arte reflete uma visão de mundo daquele momento, que é compartilhada pela ciência. Portanto, embora não se determine a influência da arte sobre a ciência ou vice-versa, o fato de compartilharem este contexto e, muitas vezes, as questões colocadas na época, garante a ligação entre o fazer cientifico e o fazer artístico (GUERRA, BRAGA, REIS, 2013). Para além da arte, existem outras questões culturais de cada contexto espaço-temporal que se relacionam direta ou indiretamente com a criação de teorias, as quais também serão exploradas neste “eixo” como forma de possibilitar a discussão dos temas de NdC que pretendemos discutir, em especial a relação da ciência com o contexto em que se desenvolve.

O eixo técnico nos permite entrar na discussão a respeito das características da ciência que garantem sua objetividade, evitando cair no relativismo para o qual nos alertam Forato, Martins e Pietrocola (2011). Neste eixo, abordaremos o desenvolvimento da instrumentação que, em constante articulação com as teorias desenvolvidas à época propiciaram novas questões e novos instrumentos, dando origem a novos programas de pesquisa. É importante ressaltar que não há, neste processo, uma relação de precedência entre a experimentação e teoria, mas ambas atuam juntas, conforme bem pontuado por Galison (1987, *apud* GUERRA, BRAGA, REIS, 2013). Além disso, não queremos passar a impressão de que a objetividade é dada simplesmente a partir do instrumento, numa visão positivista do conhecimento científico, mas ao trazer as técnicas à narrativa histórica pretendemos chegar a uma discussão sobre quais os parâmetros que fazem da ciência uma produção cultural particularmente diferente de outras produções humanas.

Por último, no eixo científico, abordaremos os conteúdos científicos que fazem parte do plano de curso, isto é, os modelos criados pelos cientistas e suas explicações para os fenômenos da época a partir destes modelos.

Devemos entender “eixo” não como alguma estrutura rígida, onde os fatos históricos são alocados, mas imaginá-los como orbitais atômicos que podem se interpenetrar e interferir uns nos outros. Pretendemos com isso passar não uma suposta impressão de independência entre estes três domínios, como o nome eixo pode sugerir, mas apenas servir de suporte à construção de abordagens histórico-filosóficas, em que o professor seja capaz de articular o contexto sócio-histórico-

cultural com as técnicas e modelos científicos desenvolvidos em determinada época a fim de construir narrativas históricas que, ao contrário do que foi percebido na análise dos livros didáticos, sejam mais completas e coerentes com a historiografia atual.

O diagrama a seguir nos ajuda a entender, de forma pictórica, a ideia contida na proposta de abordagem através dos três eixos. Há um contexto cultural que permeia toda a produção humana em um determinado tempo e espaço, representado pelo diagrama maior. Dentro deste contexto, temos a produção de técnicas e de teorias científicas em cuja intersecção se dá o desenvolvimento científico. Observe-se que tanto o desenvolvimento dos modelos científicos quanto o de técnicas são subconjuntos da produção cultural de uma determinada época. Porém, nem todas as técnicas se relacionam diretamente ao desenvolvimento da ciência assim como nem todos os modelos científicos são redutíveis a questões materiais do eixo técnico.

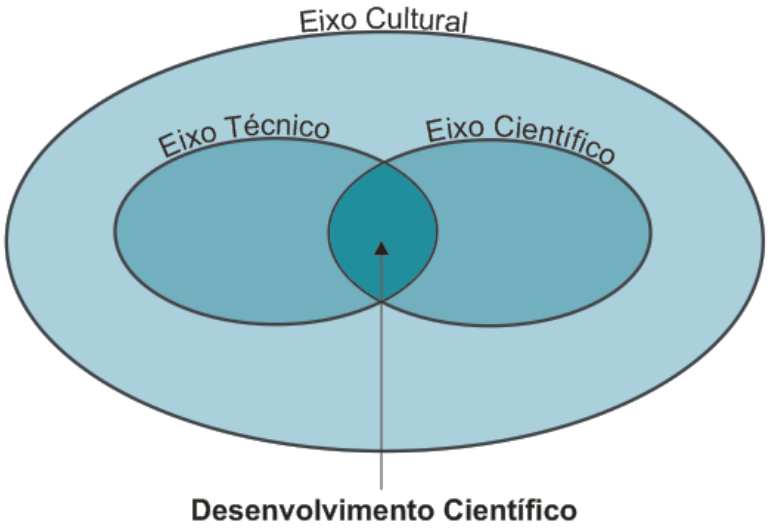


Figura II.1: Representação gráfica dos três eixos
Fonte: Desenvolvido pelo autor

No capítulo 4, de revisão histórica, retornaremos à ideia dos três eixos já utilizando exemplos históricos, de modo a esclarecer e exemplificar para o leitor a ferramenta dos três eixos conceitualizada nesta seção.

III. Metodologia

As metodologias de pesquisa têm sido uma constante preocupação das pesquisas em ensino de ciências. Uma boa evidência disso é a recente criação (em 2013) de uma linha temática “Questões teóricas e metodológicas da pesquisa em Educação em Ciências” que fez parte do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências) e deverá fazer parte das próximas edições deste que é o maior evento da área de ensino de ciências no país. Tal desafio se coloca a partir da busca dos pesquisadores da área em obter uma aprofundada visão dos processos de ensino-aprendizagem, das questões teóricas, entre outras, tendo em vista que ao mesmo tempo que não “pretendem furtar-se ao rigor e à objetividade” (CHIZOTTI, 2003), reconhecem que “a experiência humana não pode ser confinada aos métodos nomotéticos de analisá-la e descrevê-la” (*op. cit.*). Ou seja, discutem-se ainda ferramentas metodológicas que permitam a apreensão dos fenômenos educacionais sem perder de vista o rigor e a objetividade das pesquisas.

Nesse horizonte, a investigação qualitativa em educação, nascida basicamente de ciências sociais como a antropologia (BOGDAN; BIKLEN, 1994: p. 25), busca ser um caminho para pesquisas que procuram superar este desafio da investigação a respeito de fenômenos educacionais.

III.1 A pesquisa qualitativa como paradigma metodológico

Bogdan e Biklen, em seu livro “Investigação qualitativa em Educação” listam algumas características da pesquisa qualitativa em educação que, deixam claro, não são compartilhadas por todas as pesquisas que podem ser consideradas dentro da linha qualitativa, mas que servem de parâmetro para determinar o grau em que uma pesquisa é (ou não) qualitativa (BOGDAN; BIKLEN, 1994: p. 47-51).

1. *Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal.* Mesmo em situações onde se utilizam equipamentos de vídeo e áudio, o investigador complementa os dados através do contato direto com a situação

investigada. Além disso, após a coleta de dados de vídeo e áudio, o pesquisador revê todas as gravações e é o entendimento que este tem dos dados o instrumento-chave de análise, sempre relacionando os comportamentos observados ao contexto em que ocorre.

2. *A investigação qualitativa é descritiva.* A descrição minuciosa é fundamental para a investigação qualitativa tendo em vista que o olhar do pesquisador para a realidade observada deve ser de que nada é trivial, ou seja, tudo pode constituir uma pista que enriqueça a compreensão do objeto de estudo.
3. *Os investigadores qualitativos interessam*-se *mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos.* As perguntas que procuram entender como determinado processo ocorreu são de fundamental importância para o pesquisador qualitativo.
4. *Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva.* O processo de análise é como um funil: inicia-se com as coisas mais abertas, que vão delineando-se ao longo da pesquisa em função dos dados recolhidos e tornando-se mais fechadas e específicas. O investigador utiliza parte do estudo para perceber as questões mais importantes daquele estudo.
5. *O significado é de importância vital na abordagem qualitativa.* Os pesquisadores procuram estabelecer estratégias e procedimentos que lhes permitam levar em consideração as experiências do ponto de vista dos informadores.

Santos e Greca (2013), em estudo que delineou o perfil das pesquisas levadas a cabo pela comunidade latino-americana de pesquisa em educação em ciências nos anos 2000 (de 2000 a 2009), chegaram à conclusão de que há forte utilização de metodologias qualitativas de pesquisa entre os trabalhos publicados em revistas de alto impacto na comunidade referida. Isto reforça o argumento de que este norte metodológico vem sendo considerado pela comunidade de educação em ciências apropriado para lidar com a complexidade das situações educacionais sem perder de vista a objetividade.

Em posição ainda tímida na pesquisa de Santos e Greca (2013) variando de 1,6% dos trabalhos publicados no periódico “Enseñanza de las Ciências” até 6,7% dos trabalhos publicados no mesmo período na revista “Ciência & Educação” aparecem os artigos que utilizam dentro da pesquisa qualitativa a metodologia de pesquisa-ação, que escolhemos utilizar para este trabalho.

III.2 A metodologia da pesquisa-ação e sua apropriação por esta pesquisa

Para justificar a escolha da metodologia de pesquisa-ação, primeiro a caracterizaremos, elencando seus pressupostos, suas prescrições e objetivos principais. Paralelamente, pontuaremos de forma breve as principais características de nossa pesquisa que nos fizeram optar por essa metodologia. Em seções posteriores, com a descrição do ambiente escolar e a narração do caminhar da pesquisa, esta escolha ficará ainda mais evidente. Por ora, apresentaremos apenas os argumentos que respaldam fundamentalmente nossa escolha.

Em primeiro lugar, cabe retomar os objetivos da pesquisa, em especial em sua parte empírica. Neste trabalho, nos dedicamos à construção de uma sequência didática numa abordagem histórico-filosófica para os modelos atômicos, que possibilitassem a discussão de aspectos de Natureza da Ciência no nível médio de ensino. Dessa forma, a primeira etapa implicou numa investigação teórica, que envolveu apenas pesquisa bibliográfica em fontes primárias e secundárias. No entanto, os outros dois objetivos envolvem intervenção direta em sala de aula, quais sejam: (1) aplicação de uma sequência didática (SD) e análise do alcance dos objetivos epistemológicos traçados; (2) a partir da análise da aplicação da SD, discutir as potencialidades e desafios da abordagem construída.

Retomados os objetivos, passamos a um breve histórico da utilização desta metodologia no contexto educacional latino-americano e brasileiro. Toledo e Jacobi (2013) apontam o surgimento desta modalidade de pesquisa e da pesquisa participante, de uma forma mais ampla, nas décadas de 1960 e 1970, com os trabalhos de Paulo Freire, Carlos Rodrigues Brandão, Danilo Strech, entre outros. A preocupação destes era também com a participação na tomada de decisões de grupos sociais historicamente excluídos; um viés bastante político, portanto (TOLEDO; JACOBI, 2013). No caso de Paulo Freire, fica evidente a presença de seus pressupostos teórico-metodológicos para a consolidação da pesquisa-ação. Já na década de 1980 e 1990, as obras de René Barbier e Michel Thiollent dão novo impulso na modalidade de pesquisa-ação e são amplamente referenciadas até hoje (*op. cit.*).

Uma definição possível para a metodologia da pesquisa-ação segundo Thiollent (1986: p. 14) é:

> *"um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação [não-trivial, problemática, que mereça ser investigada] ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo".*

Abaixo, transcrevemos um quadro sintético com os principais aspectos da pesquisa-ação (THIOLLENT, 1986: p. 16):

a) Há uma ampla e explícita interação entre pesquisadores e pessoas implicadas na situação investigada;
b) Desta interação resulta a ordem de prioridade dos problemas a serem pesquisados e das soluções a serem encaminhadas sob forma de ação concreta;
c) O objeto de investigação não é constituído pelas pessoas e sim pela situação social e pelos problemas de diferentes naturezas encontrados nesta situação;
d) O objetivo da pesquisa-ação consiste em resolver ou, pelo menos, em esclarecer os problemas da situação observada;
e) Há, durante o processo, um acompanhamento das decisões, das ações e de toda a atividade intencional dos atores da situação;
f) A pesquisa não se limita a uma forma de ação (risco de ativismo): pretende-se aumentar o conhecimento dos pesquisadores e o conhecimento ou o "nível de consciência" das pessoas ou grupos considerados.

O alcance ou pertinência da pesquisa-ação, no que diz respeito ao tamanho do grupo que pode ser analisado por meio deste método, está situado no universo intermediário entre o microssocial (indivíduos, pequenos grupos) e o macrossocial (sociedade, movimentos e entidades de âmbito nacional ou internacional). Tal característica nos parece na medida certa para o grupo analisado em nossa pesquisa: duas turmas de ensino médio com cerca de 30 alunos. Para a pesquisa-ação, os aspectos sócio-políticos das interações sociais do grupo analisado são privilegiados em relação aos aspectos psicológicos, o que não significa um abandono completo da realidade psicológica e existencial dos indivíduos pertencentes ao grupo. (THIOLLENT, 1986: p. 9). A pesquisa-ação é um método de pesquisa participante, mas nem todo método participante é de pesquisa-ação. Um exemplo disso são pesquisas participantes onde os pesquisadores interagem com o grupo observado apenas com o intuito de serem mais bem aceitos pelo grupo (*op. cit.*: p.16)

Frequentemente a pesquisa-ação costuma receber críticas a respeito do caráter fortemente empírico da proposta. No entanto, Thiollent (1986: p. 9) ressalta que: *"Embora privilegie o lado empírico, nossa abordagem nunca deixa de colocar as questões relativas aos quadros de referência teórica sem os quais a pesquisa empírica – de pesquisa-ação ou não – não faria sentido"*. Na pesquisa-ação, o pesquisador (ou os pesquisadores) possui papel ativo não apenas no acompanhamento e avaliação das ações desencadeadas em função dos problemas, mas também na própria realidade dos fatos observados. Seu papel não se restringe, portanto, a uma mera coleta de dados. Nesse momento é necessário pontuar que o pesquisador em questão neste trabalho é o próprio regente de turma, que faz parte da realidade dos fatos observados e que desempenha um papel ativo na resolução do problema de pesquisa.

Thiollent (1986: p. 16) traz a necessidade de se definir com precisão para a metodologia de pesquisa-ação: (1) qual é a ação desempenhada; (2) quem são seus agentes; (3) os objetivos e (4) obstáculos e (5) qual é a exigência de conhecimento a ser produzido em função dos problemas encontrados na ação ou entre os atores da situação. Em nossa pesquisa, o professor/pesquisador e os alunos (2), que são os agentes da aplicação da sequência didática, (1) têm o objetivo de, por meio da ação planejada, promover o alcance por parte dos alunos de determinados objetivos epistemológicos previamente elencados (3); os obstáculos (4) e potencialidades que surgirem desta aplicação, tanto do ponto de vista da própria ação do professor/pesquisador quanto da receptividade dos alunos e o alcance ou não dos objetivos propostos constituirão uma série de evidências empíricas que, articulados com a literatura produzida na área de história da ciência aplicada ao ensino produzirão um conhecimento (5), que é uma das exigências da pesquisa-ação. O foco da pesquisa torna-se, portanto, a dinâmica de transformação da situação em vez dos aspectos individuais dos atores (THIOLLENT, 1986: p. 19). Há um objetivo prático, relacionado com a resolução de um problema da realidade pesquisada (em nosso caso, trata-se de tornar as aulas de ciências um espaço de reflexão sobre a ciência e a NdC) associado a um objetivo de conhecimento, relacionado com a pesquisa em si (neste trabalho, representado pela evidenciação das potencialidades do trabalho desenvolvido e dos obstáculos para a resolução do problema prático).

Em virtude da complexidade da ação e do problema a ser resolvido, considera-se (não só para este problema de pesquisa, mas como um paradigma das pesquisas que seguem esta metodologia) que é bastante difícil, senão impossível, formular hipóteses prévias, dada a imprecisão e constante movimento das variáveis envolvidas no problema. Em vez disso, trabalha-se com diretrizes ou instruções iniciais que

podem ser alteradas ao longo da pesquisa, a depender dos resultados parciais (THIOLLENT, 1986: p. 33). É parecido com o que propõe Lewin (*apud* TOLEDO; JACOBI, 2013): a pesquisa-ação inicia com um planejamento, que envolve o conhecimento e reconhecimento da situação, passa à ação e ao encontrar-se fatos sobre os resultados da ação, estes devem ser incorporados na fase seguinte, de retomada do planejamento; estas etapas se repetem recursivamente, a exemplo de espirais (Figura III.1), por meio das quais as ações tornam-se cada vez mais ajustadas às necessidades coletivas para a resolução do problema.

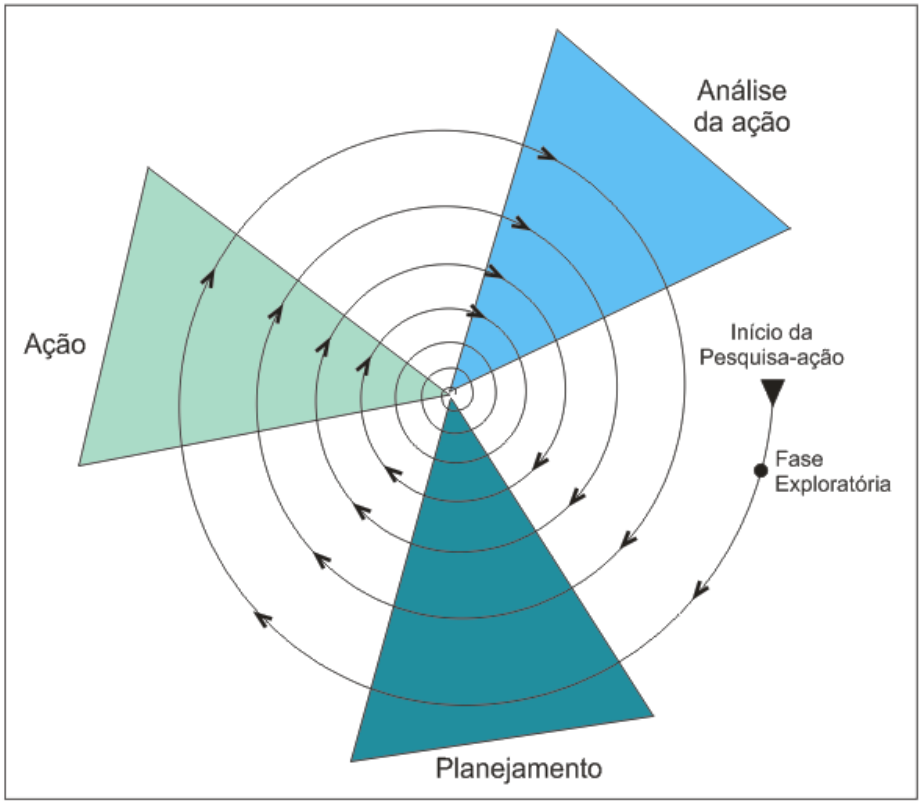


Figura III.1: O espiral da pesquisa-ação
Fonte: Desenvolvido pelo autor

Embora Lewin (*apud* TOLEDO; JACOBI, 2013) proponha o termo “encontro de fatos” para a etapa onde o planejamento é posto em ação no campo de pesquisa e produz um resultado que é observado, achamos mais apropriado o termo “Análise da ação”, uma vez que não acreditamos que os fatos falem por si, mas sim que por trás de cada fato ou mesmo da seleção do que pode ser considerado um fato, há uma interpretação do pesquisador e, portanto, uma análise particular da ação. Sendo

assim, na construção da espiral, que é uma representação visual da metodologia, alteramos o termo “encontro de fatos”, observando essa nossa ressalva.

A respeito dos instrumentos utilizados para registro dos momentos da pesquisa, utilizamos gravações em áudio e vídeo de todas as aulas da sequência didática, diários de campo do professor/pesquisador e análise de atividades feitas pelos alunos em classe e extraclasse, fazendo uma constante triangulação entre as diversas fontes de dados obtidos. É importante ressaltar que a pesquisa-ação, conforme formulado por Thiollent (1986) deixa a critério do pesquisador a utilização de métodos da pesquisa convencional para coleta auxiliar de dados (como questionários) desde que observados os princípios gerais de construção destas ferramentas. É aventada ainda a possibilidade de utilização de conjugação de outras linhas metodológicas, em especial os referenciais de análise de linguagem em situações sociais.

Os resultados das atividades e aulas ocorridas a cada semana eram levados às reuniões do grupo de pesquisa, onde eram discutidas e fomentavam a construção das aulas e atividades da semana seguinte, semelhantes aos seminários de que fala Thiollent (1986: p.59), que são reuniões dos investigadores envolvidos na pesquisa-ação destinadas a examinar, discutir e tomar decisões acerca do processo de investigação.

Thiollent (p. 41) lista ainda alguns dos objetivos de conhecimento que são potencialmente alcançáveis a partir da metodologia de pesquisa-ação, alguns dos quais são de nosso especial interesse (conforme será visto na análise dos resultados), a saber: (1) A concretização de conhecimentos teóricos; (2) a produção de guias ou regras práticas para resolver os problemas e planejar as correspondentes ações; (3) os ensinamentos positivos e negativos quanto à conduta da ação e suas condições de êxito; (4) possíveis generalizações estabelecidas a partir de várias pesquisas semelhantes e com o aprimoramento da experiência dos pesquisadores.

A pesquisa-ação, conforme comentamos, é um norte para o caminhar da pesquisa, mas não especifica em detalhes como tratar os dados obtidos desta. Pensando nisso, resolvemos complementar o nosso arcabouço metodológico com uma metodologia específica para tratar alguns dos dados obtidos, a qual descrevemos na seção seguinte.

III.3 Complementando o olhar sobre os dados: análise textual discursiva

A parte empírica desta pesquisa foi construída pensando na inclusão de atividades ou estratégias em sala de aula que pudessem fomentar a discussão e a reflexão sobre a ciência e seus métodos. Sendo assim, o nosso conjunto de dados obtidos destas atividades e estratégias é tanto diverso e complexo quanto extenso: há atividades escritas, debates promovidos em sala de aula e mesmo diálogos surgidos das aulas expositivas dialogadas, além das próprias anotações do diário de campo do professor. Tendo em vista a extensão da sequência didática, se optássemos por selecionar alguns episódios de sala de aula para analisar utilizando algum dispositivo de análise de discurso, por exemplo, certamente estaríamos abrindo mão de uma compreensão do desenrolar da investigação, (dado o tempo disponível para a conclusão do mestrado) fugindo ao que é preconizado pelo nosso principal referencial metodológico, que é a pesquisa-ação. Por isso, destacamos as situações da sala de aula (pequenos trechos de debates, intervenções de alunos, observações sobre a postura do professor, a mediação do conteúdo) e as anotações do professor apenas na medida em que são necessárias para entender o caminhar da investigação dentro do paradigma da pesquisa-ação e corroborar os resultados obtidos. Cabe ainda pontuar que a metodologia qualitativa de pesquisa-ação nos deu suporte teórico para a condução da pesquisa, para a postura do pesquisador quando em campo e para a definição das etapas da pesquisa. Porém, apesar de constituir a “espinha dorsal” de nossa investigação, ela não é suficiente para definir como serão tratados os dados escritos obtidos. Por isso, com o objetivo de melhor organizar estes dados e obter deles o entendimento mais aprofundado e completo possível, lançamos mão da análise textual discursiva (ATD) para analisar as produções escritas dos alunos. Estas serão organizadas e analisadas segundo essa perspectiva metodológica, que descrevemos a seguir.

Moraes e Galiazzi (2011: cap. 6) classificam a análise textual discursiva como uma metodologia que pertence ao domínio da análise textual e situa-se entre os extremos da análise de discurso e da análise de conteúdo. Em metáfora, estes autores comparam estas três metodologias com movimentos dentro do rio do discurso: as três metodologias pertenceriam ao mesmo rio, mas correspondem a movimentos diferentes. A análise de conteúdo seria como navegar a favor do rio, conduzida a partir dos conhecimentos tácitos do pesquisador. A análise de discurso traria paralelo com a navegação contra a corrente no rio: requer referencial teórico “forte” e domínio cada vez mais aprofundado dos pressupostos da linguística, que embasam esta metodologia. A ATD seria um mergulho no rio para análise em profundidade, focalizando a complexidade dos fenômenos analisados.

A ATD parte do pressuposto de que toda leitura já é uma interpretação e que, portanto, não há leitura única e objetiva. Esta leitura está sempre articulada com a perspectiva teórica de quem lê, seja ela implícita ou explícita. Todo texto analisado – e aqui entende-se "texto" de uma forma mais ampla, como toda produção linguística criada em determinado tempo e contexto, que expressa discursos sobre fenômenos e que pode ser lido, descrito e interpretado – corresponde a uma multiplicidade de sentidos, ou seja, é um significante polissêmico que pode dar origem a diversos tipos de leituras. Nesse sentido, embora haja um sentido mais conotativo do texto, cujas leituras podem ser compartilhadas facilmente entre diferentes tipos de leitores, há também o sentido implícito cuja interpretação, mais exigente e aprofundada, não necessariamente é compartilhada por diferentes leitores, que fazem suas leituras a partir de sua própria perspectiva teórica, seus conhecimentos e discursos em que se inserem. Por isso, torna-se importante a leitura a partir da perspectiva do outro quando das análises, valorizando os sujeitos das pesquisas e exercitando-se uma atitude mais fenomenológica. (MORAES, GALIAZZI, 2011: cap. 1)

Todo o processo de análise textual discursiva, isto é, todas as etapas de análise voltam-se à produção de um metatexto que conterá as interpretações, os argumentos e a tese que o autor pretende defender a partir da análise dos dados. O processo de análise é descrito como um processo auto-organizado de desconstrução e reconstrução dos textos em busca de significados. Para isso, Moraes e Galiazzi (2011: cap. 1) propõem três etapas, descritas a seguir.

Etapa 1: Unitarização → Nesta etapa, o pesquisador desconstrói o texto, fragmenta-o em seus elementos constituintes, chamados unidades de análise (ou ainda unidades de significado / de sentido). Estas unidades, que podem ser definidas a partir de critérios pragmáticos ou semânticos, são as menores unidades textuais que preservam o significado mais completo em si mesmas. Elas devem ser codificadas de acordo com o documento do corpus de análise de onde foram extraídas ou que as originaram, utilizando letras e números, de modo a facilitar a organização e identificação das mesmas.

Conforme os autores ressaltam, o processo de análise e, em especial a unitarização é uma atividade exigente e trabalhosa, que exige a impregnação do pesquisador com o material da pesquisa, para que possa desestabilizar a ordem estabelecida nos textos analisados e, a partir desse "caos" criado, possam surgir interpretações criativas e originais que estabeleçam a relação das partes com o todo,

o que já constitui a próxima etapa da ATD: a categorização, ou o estabelecimento de relações.

Etapa 2: Categorização → É um exercício de comparação constante entre as unidades formadas durante a etapa 1. As unidades de análise que possuem significação próximas constituem uma categoria. As categorias criadas durante este processo serão as unidades de organização do metatexto e possibilitarão a expressão dos significados surgidos da análise. Há vários métodos e tendências ao criar as categorias: elas podem ser criadas através de dedução, ou seja, categorias *a priori*, análogas às "caixas" de Bardin, onde as unidades de análise são agrupadas. Podem surgir das próprias unidades de análise, através de comparação e contraste entre essas unidades, em uma tendência mais indutiva. Uma terceira opção seria a mistura entre os dois métodos: iniciar-se-ia com categorias a priori que seriam modificadas ao longo da análise através de um processo de dedução-indução. Os autores defendem ainda um método intuitivo, um pouco mais livre do que os critérios dedutivos e indutivos sugerem.

No entanto, mais importante do que o método escolhido para criação das categorias são a possibilidade de elucidar o fenômeno a partir das categorias criadas e o diálogo das mesmas com o referencial teórico escolhido e a consonância com os objetivos e o objeto da análise. Além disso, consoante com a filosofia adotada pela ATD de que um mesmo texto pode possuir vários significados, as categorias não são mutuamente exclusivas para esta metodologia de análise de dados.

Etapa 3: Construção do Metatexto → Conforme já pontuado, o objetivo da desconstrução-reconstrução dos textos analisados é o entendimento do fenômeno investigado, compreensão essa que vem com a escrita do metatexto. Neste momento, o pesquisador deve se colocar como autor dos seus próprios argumentos, construindo uma análise a partir da descrição e interpretação do processo à luz do referencial teórico escolhido. O conjunto da análise deve representar, de certa forma, um modo de teorização acerca do fenômeno investigado.

Segundo Moraes e Galiazzi (2011), a qualidade e originalidade das produções depende da imersão do autor no fenômeno investigado e dos pressupostos teóricos e epistemológicos adotados quando da análise.

Feita esta breve introdução à linha metodológica que norteia este trabalho e à metodologia escolhida para análise de parte dos dados obtidos, os próximos capítulos são dedicados à etapa bibliográfica da pesquisa e à descrição do ambiente em que a

pesquisa foi realizada, bem como uma narração de como foi o caminhar da pesquisa em sua parte empírica.

IV. A história do atomismo na virada do século XIX para o XX revisitada

Neste capítulo nos concentraremos em reconstruir a história do desenvolvimento dos modelos atômicos na virada do século XIX para o século XX. Não em um tipo de revisionismo histórico, mas buscando personagens inexplorados no ensino de modelos atômicos em química que desempenharam importantes papéis na história do atomismo. Conforme Forato, Martins e Pietrocola (2011), a seleção do episódio histórico aqui descrito obedece a um objetivo didático específico, que é trabalhar ideias sobre NdC que já foram destacadas na introdução. Ou seja, nosso estudo sobre os modelos atômicos desenvolvidos nesta época não é exaustivo e deixa de fora alguns outros modelos que também desempenharam papéis importantes neste mesmo período. Um exemplo disso é o átomo cúbico de G. N. Lewis (1875 – 1946), que foi importante para a química e especialmente para as primeiras teorias de ligação química (KOHLER JR, 1971), mas que dialoga pouco com os objetivos da sequência didática que pretendemos criar a partir do recorte histórico aqui feito.

Justificamos também, a partir do objetivo do trabalho e do marco teórico que o norteia, a escolha de dividir este capítulo em três partes: o contexto cultural, o eixo técnico e o eixo científico. Nós escolhemos, por razões descritas no capítulo 2, construir nossa sequência didática seguindo (com pequenas modificações) a proposta dos três eixos apesentada por Guerra, Braga e Reis (2013), o que nos faz optar por olhar para o período histórico estudado através de três lentes distintas: uma cultural, procurando observar as marcas da cultura da época em pontos específicos que se tocam com a história do atomismo; a segunda, técnica, destinada a descrever as condições materiais de experimentos, instrumentos, técnicas e utensílios que guardam relações com o desenvolvimento das teorias atômicas; a última lente diz respeito aos modelos em si, a descrição dos modelos atômicos que foram enfatizados nessa dissertação. Procuraremos pontuar, ao longo de cada uma das divisões deste capítulo, a relação com as outras seções, procurando construir um texto mais global que retoma o nosso olhar para o estudo de caso histórico à luz dos nossos objetivos pedagógicos.

IV.1 O contexto cultural

Não há como falar da virada do século XIX para o século XX do ponto de vista cultural sem se reportar ao período de efervescência que a arte vivia neste período na

Europa. Como destaca Gombrich (2006: p. 412), evidencia-se uma preocupação que se apresenta a partir do movimento *Art Nouveau* na arquitetura do final do século XIX, baseada em um novo olhar para a ornamentação e materiais utilizados nas construções, mas que não fica restrito à arquitetura. Muito embora seja difícil "mapear" a sensação de desconforto e insatisfações de jovens pintores no final do século XIX, é deste sentimento que surge um conjunto de movimentos que costumamos chamar hoje de "Arte Moderna". (GOMBRICH, 2006: p. 413).

Dentro deste contexto, surge no final do século XIX o movimento Impressionista, representado por diversos pintores como Paul Cézanne (1839 – 1906), Vincent Van Gogh (1853 – 1890), Georges Seurat (1859 – 1891), entre outros. Esse movimento artístico levava às últimas consequências as premissas do realismo de Gustave Courbet (1819 – 1877) e outros. O objetivo de Courbet (e da corrente da qual ele fazia parte) era representar a realidade tal como ele a via, sem idealizações, como por exemplo, aquelas presentes nas obras de Rafael (1483 – 1520). Ou seja, pretendia-se ao retratar o mundo como o mesmo era observado, representar os gestos, expressões, formas de "forma honesta", como ele afirmava. (GOMBRICH, 2006: p. 391-2). A disputa do impressionismo com o realismo não residia tanto no objetivo: ambos procuravam "dominar a natureza", representando o que viam. No entanto, os meios para atingir esta representação fiel do que viam eram diferentes. No movimento impressionista, os pintores traziam para seus quadros suas sensações de cor, forma, etc. Por este motivo, a sombra de objetos poderia ser colorida em um quadro impressionista. Isso retratava a maneira daquele pintor de enxergar a realidade pintada.

Dentro do movimento impressionista, algumas técnicas foram construídas, como a desenvolvida por Georges Seurat (1859 – 1891) e nomeada pontilhismo ou divisionismo. Essa técnica trabalha com a discretização da realidade suposta contínua. Após estudar sobre teoria das cores, Seurat desenvolve esta técnica, que consistia em pintar quadros com pequenos pontos de cores primárias, uma espécie de matriz ou mosaico de pontos que se uniriam na consciência do observador, dando o efeito de continuidade à pintura. (EVERDELL, 2000: p. 408-9; GOMBRICH, 2006: p. 418-9). Apesar do efeito de continuidade, a imagem era formada por pequenos pontos, pequenos "átomos de cor", conforme afirmava Seurat, independentes entre si. Podemos ver nessa representação uma oposição entre discretização e continuidade. A preocupação com a representação do contínuo não era um tema inédito. Esse tema foi considerado por Leonardo da Vinci (1452-1519), através do *sfumato*, por exemplo, era uma técnica empregada por da Vinci em seus quadros, nos quais os contornos

eram propositalmente embaçados e as cores, misturadas na palheta, eram procuradas com o intuito de fazer as formas se mesclarem, atenuando a rigidez das formas e, assim, dando o efeito de continuidade (GOMBRICH, 2006: p. 227-8).

Essa técnica vai dando lugar a novas formas de pintura mais adequadas a estas novas maneiras de entender e representar a realidade que chegam com o impressionismo. Um exemplo é o “cloisonismo”, inspirado na técnica *cloisonné*, que apresenta uma maneira de pintar em que pequenas áreas do quadro são contornadas por uma cor escura e preenchidas por uma cor daquele trecho da pintura. (EVERDELL, 2000: p.96) Com isso, o quadro fica dividido em pequenas seções, mas que à distância dão uma sensação de continuidade entre elas. Importante aqui destacar que a própria fotografia, com sua apreensão da realidade de forma minuciosa e detalhada, contribuiu para a busca de novas expressões na arte, aí representado pelo impressionismo.

A movimentação na pintura da virada do século em torno da representação de algo aparentemente contínuo por algo discreto pode ser vista em diversos campos do conhecimento. Outro exemplo desta representação é o cinema. É difícil precisar a origem do cinema, que vem de uma evolução de técnicas, principalmente ópticas, como o princípio da câmara escura, e a lanterna mágica, ambas surgidas antes do século XIX. Como destaca Costa (2006):

> *“Não existiu um único descobridor do cinema, e os aparatos que a invenção envolve não surgiram repentinamente num único lugar. Uma conjunção de circunstâncias técnicas aconteceu quando, no final do século XIX, vários inventores passaram a mostrar os resultados de suas pesquisas na busca da projeção de imagens em movimento: o aperfeiçoamento nas técnicas fotográficas, a invenção do celulóide (o primeiro suporte fotográfico flexível, que permitia a passagem por câmeras e projetores) e a aplicação de técnicas de maior precisão na construção dos aparatos de projeção.”*

A ideia que reside nos primórdios do cinema ou, mais rudimentarmente, na projeção de imagens, é a simulação de uma continuidade a partir do descontínuo. O que se tem é uma série de imagens estáticas que, colocadas em sequência, “enganam” a consciência a partir da chamada retenção retiniana, e são capazes de construir uma cena, dando uma sensação de plena continuidade da mesma. Atualmente, a Teoria Gestalt propõe outra explicação para este fenômeno da continuidade a partir do discreto em sequências de imagens, que antes era explicado no século XIX muito comumente pela retenção retiniana (GUIMARÃES, 2005).

Somado a isso, instrumentos como o cinematógrafo, permitiram a captação de diversos fotogramas em sequência, o que facilitou a projeção de filmes, a exemplo das primeiras (e famosas) sessões pagas dos irmãos Lumière na França em 1895 (COSTA, 2006). Ainda no final do século XIX, assiste-se a uma importante evolução na imprensa da época: a substituição gradual das figuras feitas à mão nos jornais por impressões fotográficas. Esta mudança se consolidou com a técnica *halftone* (meio-tom, em tradução literal), que consistia na impressão de pequenos pontos pretos no papel cuja distância entre si e seu diâmetro permitiu constituir imagens (GIACOMELLI, 2009) com aspecto contínuo, apesar de constituídas de pequenos "entes" discretos.

Observe-se aqui um elemento cultural que começa a se difundir em diversas áreas, mas que não fica restrito ao campo das ideias. Entendemos com isso que há uma complexa inter-relação com a produção de técnicas e objetos, o que corrobora com nossa ideia de que o eixo técnico e o eixo cultural não são independentes, mas se relacionam de maneira bastante forte e, em alguns momentos, de forma quase simbiótica. Tal percepção tornará a ser comentada na seção V.5.

É possível entender o contexto da época inclusive olhando para outros campos da ciência distintos do desenvolvimento dos modelos atômicos. Tomando um exemplo da botânica, Hugo De Vries (1848 – 1935) envia para publicação em março de 1900 um artigo intitulado "Das Spaltungsgesetz Bastarde" ("A lei de segregação de híbridos"), cujo início apresenta uma comparação de moléculas químicas com o caráter das espécies. (EVERDELL, 2000: p. 195). Afirmava De Vries que o "caráter" de uma espécie é "constituído de unidades distintas... elementos da espécie", que "tal qual moléculas químicas... não possuem etapas transicionais entre eles". Este artigo é famoso por ser considerado um artigo de "redescoberta" de Mendel, já que ele é citado em uma nota de rodapé. (*op.cit.*) E ao evocar "moléculas químicas", De Vries faz alusão (intencionalmente ou não) ao debate entre continuístas e atomistas que estava estabelecido na química desde aproximadamente o início do século XIX, com o átomo de John Dalton. Afinal, seria a matéria formada de unidades discretas ou não?

Neste mesmo período, direcionando nosso olhar para a física, nos deparamos com os estudos sobre o movimento browniano, caracterizado pelo botânico escocês Robert Brown, ainda na primeira metade do século XIX (SALINAS, 2005). Em 1905, Einstein publica um trabalho na revista Annalen der Physik com o título "Movimento de partículas em suspensão em um fluido em repouso, como consequência da teoria cinética molecular do calor" (título original "Über die von der molekularkinetisehen Theorie der Wärme gefordete Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten

Teilchen") em que descreve do ponto de vista teórico-matemático o movimento browniano admitindo a existência de partículas na constituição da matéria, incluindo uma estimativa para o Número de Avogadro (*op. cit.*), ou seja, endossando a visão dos atomistas na oposição contra os energeticistas. Tal previsão teórica de Einstein é corroborada anos mais tarde em um meticuloso trabalho experimental de Jean Perrin (1870 – 1942) publicado em 1909 e também posteriormente no livro "Les atomes", do mesmo autor, em 1913. Este trabalho se localiza no contexto da controvérsia discreto *versus* contínuo como um peso a favor da realidade atômica (OKI, 2009).

Caminhando um pouco para o início do século XX, já no surgimento da física quântica, temos um fato político que se relaciona sobremaneira com o desenvolvimento científico após este evento: a Primeira Guerra Mundial (I GM), ocorrida entre os anos de 1914 e 1918. A I GM ficou marcada pela sua alta letalidade, mas além disso, podemos apontar que a Alemanha, ao perder a primeira guerra, mergulha em uma crise que teve repercussões não apenas na economia e na política, mas inclusive na ciência, conforme aponta Paul Forman (1983). Frustrados com a perda da guerra a despeito do grande poderio científico da Alemanha na virada do século, os jovens cientistas que acabam por desenvolver a física quântica são tomados por um sentimento de rompimento com o passado e da criação de novas estruturas na ciência, que se utilizasse de um novo arcabouço teórico diferente do que estava estabelecido até então e que não foi suficiente para que a Alemanha lograsse êxito na I GM. (*op. cit.*) Além disso, a identificação da própria identidade alemã com a ciência que por eles era desenvolvida, ajuda na impulsão da física quântica e, portanto, é nesta atmosfera que surgirão os modelos quânticos e orbitais, conforme será detalhado a seguir.

Esta proposta de rompimento de padrões, também ocorre na arte através do movimento Surrealista, que, nas palavras de Hobsbawn (1991: p.180), citando Willett, é uma *"súplica pela ressurreição da imaginação, baseado no inconsciente revelado pela psicanálise, os símbolos e sonhos"*. O real e o onírico convivem no surrealismo, uma negação da consciência, da experiência imediata. Sobre esta relação, Reis, Guerra e Braga (2006) comentam:

> *"O Surrealismo, por exemplo, surgiu procurando sonhar e agir, superando a dicotomia que essas ações representam. Há uma negação da consciência, um abandono do controle da razão sobre o ato criativo. Aqui nasce uma interessante questão: em que medida a negação da consciência e a tentativa de superação da dicotomia entre sonhar e agir, empreendida pelos surrealistas, está próxima da nova realidade da física do século XX? Ainda que toda a física esteja*

> *ancorada em equações matemáticas muito bem fundamentadas, alcançar as implicações filosóficas e de realidade criadas pela física moderna parece necessitar da negação da consciência do mundo que acreditávamos conhecer até agora.*
>
> *Não estamos dizendo que a física moderna recusa a razão ou a consciência, mas é inegável que ela trouxe uma forma completamente nova de ver e interpretar a natureza que representa uma verdadeira ruptura com a da física clássica. Essa representação clássica da realidade era, em grande parte, a da arte ocidental até o surgimento das vanguardas do início do século XX."*

A arte, assim como a ciência, refletem questões de seu tempo e, embora não possamos determinar a influência de uma sobre a outra, podemos dizer que as produções de ambas (mesmo da ciência, cuja linguagem é considerada mais hermética) e as questões que ambas produzem ou procuram responder estão presentes no imaginário da época em que estão sendo produzidas. Dessa forma, a ciência é fruto desse ambiente cultural da mesma forma que ajuda a construí-lo (REIS; GUERRA; BRAGA, 2006). A mesma observação se aplica aos demais eventos, não necessariamente ligados à arte (mas à ciência, à geopolítica, entre outros), e que estão aqui retratados.

IV.2 O eixo técnico

Na seção anterior, destacamos diversas questões da cultura ampla, que guardam relações às vezes de contexto, mas também de influência direta sobre o desenvolvimento da ciência – destaque-se o caso da I GM e a ciência alemã. No entanto, a ciência não é apenas um produto do meio cultural, mas sim produto de uma relação dialógica com esse meio, sendo assim, ao mesmo tempo que se constrói a partir dele, ajuda a construí-lo. E isso é possível porque a ciência tem seus próprios modos e mecanismos de validação interna do seu conhecimento, de colocação de novas questões e linhas de pesquisa, isto é, a ciência tem seu próprio *modus operandi*. Esse *modus operandi* deve ser levado em conta para evitarmos o relativismo absoluto, para o qual nos alertam Forato, Martins e Pietrocola (2011). Ainda que este *modus operandi* também guarde relações com o contexto espaço-temporal em que foi produzido ou traga marcas de sua cultura – como nos mostra o conceito de ciência eurocêntrica de Aikenhead e outros (MILNE, 2011), podemos dizer que a ciência possui características que lhe são peculiares e que lhe conferem parâmetros de objetividade. Uma destas características reside nos instrumentos, utensílios,

experimentos e técnicas dos quais a ciência se utiliza para obter e produzir dados; é nisso que consiste o eixo “técnico”. Nesta seção, procuraremos destacar alguns desses experimentos, técnicas e instrumentos que estiveram presentes no desenvolvimento dos modelos atômicos ou guardam relações com as técnicas utilizadas neste contexto.

Cabe apontar que assim como a pintura não é o único elemento a que podemos nos referir ao tratar do contexto cultural, a instrumentação não é o único caminho para determinar a objetividade da ciência. Poderíamos incluir a abordagem da matematização como parâmetro de objetividade; no entanto, além de os instrumentos serem mais “palpáveis” na hora do desenvolvimento de recursos didáticos para a sala de aula, podemos dizer também que a matematização é uma realidade mais presente na física do que na química, cuja natureza é mais instrumental (especialmente no período histórico tratado).

Um instrumento que está presente até hoje nos laboratórios de química é o bico de Bunsen, cujo surgimento data de meados do século XIX. Robert Wilhelm Bunsen (1811 – 1899) em colaboração com Henry Enfield Roscoe (1833 – 1915) descreveram em detalhes, no ano de 1857, o aparato para queima de gases que, diferentemente dos anteriores, produzia uma chama sem cor (nos queimadores anteriores as impurezas presentes no próprio instrumento produziam a coloração da chama), livre de fuligem e de tamanho aproximadamente constante (JENSEN, 2005). Com isso, era possível estabelecer parâmetros mais confiáveis para ensaios com chama.

Sem dúvida, o desenvolvimento deste instrumento impulsionou sobremaneira a espectroscopia que trouxe dados novos tanto para a astroquímica e astrofísica como também para a caracterização de elementos por meio da investigação de seus espectros. A questão que se colocava a partir dos dados obtidos era sobre a ligação entre os espectros descontínuos obtidos através destes métodos espectroscópicos mais refinados e a estrutura interna da matéria. Como explicar estes espectros? Os modelos desenvolvidos neste contexto davam conta destas explicações?

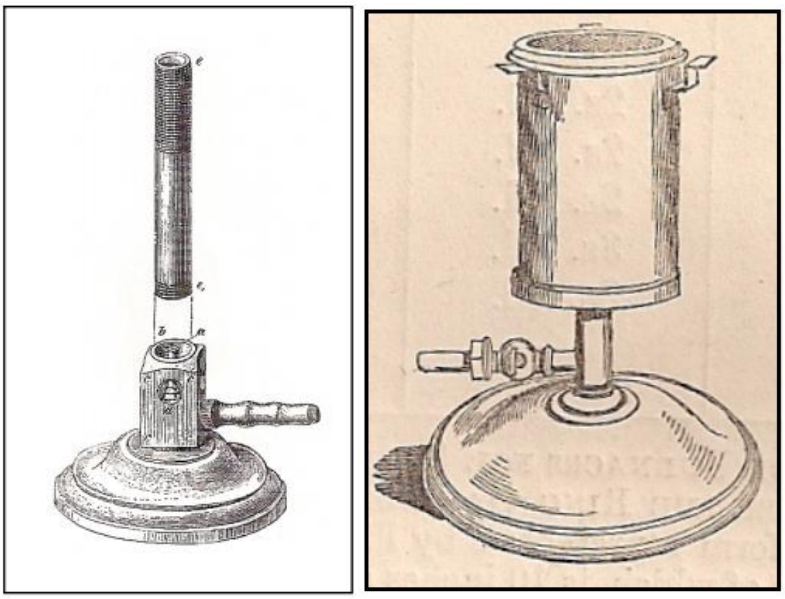


Figura IV.1: O Bico de Bunsen (à esquerda) ao lado de um queimador de gases comumente utilizado antes da invenção de Bunsen e Roscoe.
Fonte: Jensen (2005)

Segundo Lopes (2009), diversos elementos como Césio, Rubídio, Tálio e Índio foram descobertos a partir de experimentos com espectroscópios. Com o avanço contínuo das técnicas de espectroscopia, novos instrumentos foram criados, permitindo que os telescópios, a fotografia e a eletroscopia pudessem ultrapassar o limite da observação visual, produzindo linhas de emissão em regiões do espectro não-visíveis, como o infravermelho e o ultravioleta. Com isso, os resultados produzidos pelas pesquisas eram mais confiáveis e permitiam avançar no conhecimento produzido. As primeiras relações matemáticas capazes de prever as linhas dos espectros foram criadas com relativo sucesso por Balmer, Rydberg, Kayser e Runge (LOPES, 2009). Essas evidências, no entanto, não se encaixavam bem com um átomo estático como o de Dalton e isso serviu de estímulo ao desenvolvimento de novos modelos na virada do século.



Figura IV.2: Um espectroscópio do tipo Bunsen-Kirchoff. Acervo do museu da Universidade de Lisboa.
Fonte: Peres, Maia e Costa (2010).

Ainda no século XIX, a invenção de diversos aparatos técnicos como a lâmpada, o gerador elétrico, o motor elétrico, entre outros permitiu a construção de experimentos fundamentais para o desenvolvimento dos modelos atômicos no final do século, como o tubo de Crookes, ou tubo de raios catódicos. Os experimentos com tubos de Crookes foram muito usados no debate em torno a natureza dos raios catódicos. No final do século XIX, os alemães acreditavam que os raios catódicos comportavam-se como onda e os franceses e ingleses, em sua maioria, advogavam por uma concepção particulada dos raios. Thomson estava do lado inglês, isto é, acreditava serem feixes de partículas os raios catódicos. Até que em um artigo de 1897, Thomson faz uma série de medidas utilizando os tubos de raios catódicos, conforme nos relata Lopes (2009):

> *"Ele testou tubos contendo 4 diferentes gases e utilizou 3 metais diferentes na constituição dos eletrodos chegando sempre aos mesmos valores para a razão m/e, postulando assim que todos os elementos químicos são constituídos de um constituinte universal que levariam à determinação de uma massa, para esse constituinte, mil vezes menor que a massa conhecida do átomo de hidrogênio."*

Thomson consegue, portanto, estabelecer a relação carga / massa das partículas constituintes do feixe que depois seriam chamadas de elétrons. Mais tarde, no século XX, outros experimentos, como o famoso experimento de Milikan

confirmarão estes resultados. Note-se que também neste caso, há uma oposição entre uma visão discreta do fenômeno e uma visão contínua do mesmo, fato que se repete para os espectros de emissão de elementos submetidos à análise espectroscópica, onde ficam evidentes linhas de emissão e não um espectro contínuo; também em outros contextos da mesma época, tal controvérsia fica evidente, conforme discutido na seção anterior.



Figura IV.3: O tubo de raios catódicos utilizado por Thomson.
Fonte: Acervo do “The Cavendish Laboratory Museum”.
<http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphys/museum/area2/cabinet3.htm>, Acesso em 24/11/2014.

Na trilha das pesquisas com tubo de raios catódicos há ainda as investigações sobre a radioatividade, que foi um fenômeno bastante discutido durante todo o século XIX. Chamam atenção neste contexto as investigações de Wilhelm Conrad Röntgen (1845 – 1923) que procurando dados para discutir a natureza dos raios catódicos, repete os experimentos de Philipp Lenard (1862 – 1947) com tubos de raios catódicos cobertos com papel negro. Nesse procedimento, observa um efeito secundário dos raios catódicos: a cintilação de uma tela de platinocianeto de bário utilizada como anteparo. Após repetir o experimento muitas vezes e com a tentativa de formar sombras na tela, Röntgen observa a imagem de seus ossos no anteparo, a qual ele registra em chapas fotográficas (OLIVEIRA, 2014), gerando a famosa imagem da radiografia da mão de sua esposa com anel. Este misterioso raio capaz de deixar marcas em certos objetos foi nomeado posteriormente de raio-X.

A questão posta, novamente, diz respeito à origem deste fenômeno. Afinal, como ele poderia ser explicado? Estaria a chave da explicação na estrutura interna do átomo?



Figura IV.4: Imagem da radiografia obtida por Röntgen
Fonte: Oliveira (2014)

No início do século XX, com o avanço dos métodos de contagem de partículas, em especial a cintilografia, intensificam-se as pesquisas a respeito do comportamento de partículas alfa e beta (já um fruto dos estudos sobre radioatividade) ao atravessarem a matéria, com vistas à elucidação da estrutura da matéria.

Entre 1908 e 1910, Hans Geiger (1882 – 1945) e Ernerst Marsden (1889 – 1970) desenvolvem um experimento que consistia no bombardeamento de finíssimas lâminas de diversos metais diferentes com partículas do tipo alfa obtidas de um elemento radioativo. Com auxílio de um método cintilográfico, eles monitoram os desvios sofridos pelas partículas e encontram resultados surpreendentes: a grande maioria das partículas passava pela folha de metal sem sofrer qualquer desvio (em especial do ouro, que por ser mais dúctil, era capaz de produzir as lâminas mais finas). Algumas sofriam um desvio pequeno e um número menor ainda de partículas sofria um grande desvio. Rutherford fica muito surpreso com o resultado, conforme relatado por ele mesmo:

> *Um dia Geiger veio para mim e disse, 'Você não acha que o jovem Marsden, a quem estou treinando nos métodos radioativos, deveria começar uma pequena investigação?' Agora, eu pensava que tinha também, então disse 'Por que não deixá-lo ver se algumas partículas alfa podem ser espalhadas através de grandes ângulos?' Eu posso lhe dizer, com confiança, que não acreditava que haveria, pois sabia que a partícula alfa era uma partícula maciça muito rápida, com muita*

> *energia, e você poderia mostrar que, se o espalhamento fosse devido ao efeito cumulativo de uma série de pequenos espalhamentos, a chance de uma partícula alfa ser espalhada para trás era muito pequena. Então eu me lembro que dois ou três dias mais tarde, Geiger veio até mim, com grande excitação, dizendo 'Nós fomos capazes de obter algumas das partículas alfa retornando para trás ..." Foi o evento mais incrível já aconteceu na minha vida. Foi quase tão incrível quanto se você disparasse uma bala de 15 polegadas em pedaço de papel e ela voltasse e batesse em você"* (RUTHERFORD *apud* LOPES, 2009)

Geiger em artigo posterior, lançando mão de teorias já consolidadas, procurou explicar os resultados do experimento que realizara, porém sem grande sucesso. A inovação neste caso veio junto com o modelo atômico de Rutherford, que propõe um modelo muito parecido com outros já propostos antes dele, inclusive com os mesmos problemas de instabilidade, adquirindo, no entanto, seu lugar na história da ciência.

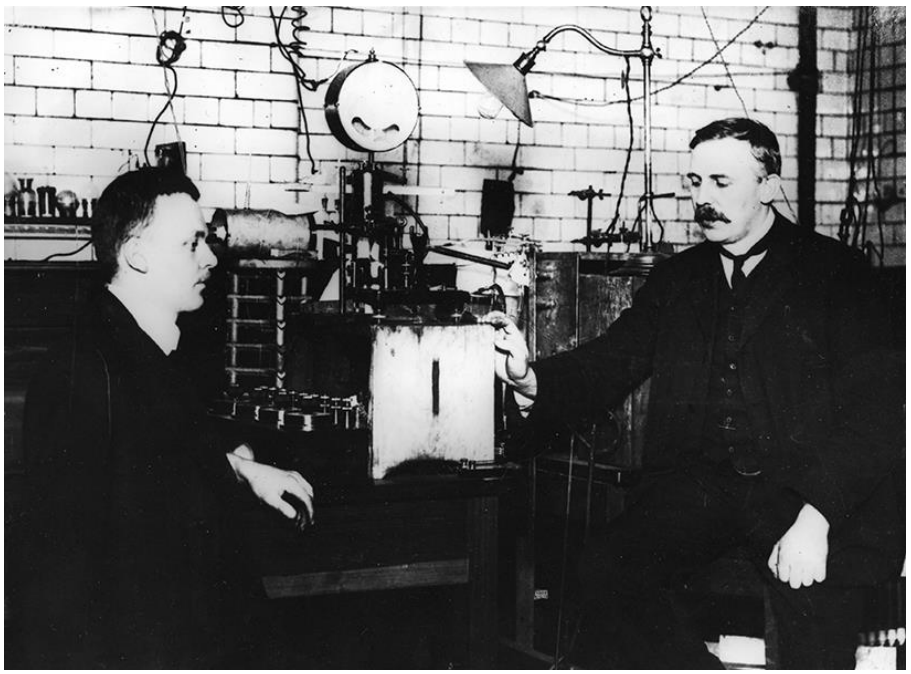


Figura IV.5: Hans Geiger e Ernest Rutherford no laboratório.
Fonte: Acervo de Physics Today Collection. Disponível em <http://www.aip.org/history/exhibits/rutherford/sections/alpha-particles-atom.html>. Acessado em 24/11/2014

IV.3 O eixo científico

Alguns historiadores da ciência (LOPES, 2009; KRAGH, 2010) apontam para a existência de diversos cientistas que desenvolveram modelos atômicos antes de 1913, data em que Niels Bohr propõe sua teoria, considerada por Kragh (2010) a primeira

teoria atômica de sucesso. Além dos já conhecidos e presentes nos livros didáticos, Ernest Rutherford e J. J. Thomson, há ainda outros personagens como Jean Perrin, Hamtaro Nagaoka e William Nicholson que colaboraram para o desenvolvimento das teorias atômicas desta época, em alguns casos com contribuições decisivas na história da ciência, mas que não figuram nas abordagens dos livros didáticos.

IV.3.1 O átomo de J. J. Thomson

Joseph John Thomson (1856 – 1940), cientista inglês, ainda jovem, quando estudante do *Owens College*, interessou-se pelo estudo da estrutura da matéria e pelas leis de combinações químicas. Através do contato com seus professores, Thomson decidiu cursar física. (LOPES, 2009). Para ele, o problema da estrutura da matéria estava intimamente ligado com a variação das propriedades químicas na tabela periódica de Mendeleev e, também, com a ligação química entre os átomos para formar moléculas. Por isso, sua proposição para explicar esta estrutura procurava resolver estes dois problemas, a partir de estruturas subatômicas, em detrimento do nível macroscópico. (op.cit.)

Thomson propôs seu modelo atômico em 1904, numa publicação no periódico *Philosophical Magazine* de título "*On the structure of atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure*". Este trabalho, que se tornou referência obrigatória para o período, descrevia o átomo como composto de anéis com n partículas eletricamente carregadas com carga negativa (hoje conhecidas como elétrons), localizados no interior de uma esfera de carga positiva uniforme. (THOMSON, 1907: p. 106-109) As partículas negativas estariam, quando em movimento, distribuídas a intervalos angulares iguais. Thomson calculou a sua distribuição por anel em algumas situações, considerando, para possibilitar a resolução do problema matemático (e, portanto, resolver a questão da estabilidade mecânica), apenas uma seção transversal da esfera. (*op. cit.*) Os elétrons distribuíam-se em anéis e, portanto, não "cascas". Ele supôs ainda que a massa do átomo seria dada pela soma das massas dos corpúsculos negativos, e que os anéis mais externos possuiriam mais elétrons que os anéis mais internos (KRAGH, 2010), ambos os fatos mais tarde foram questionados por Nicholson e por Rutherford através do experimento de espalhamento das partículas alfa e do desenvolvimento de seu modelo. No entanto, este modelo tinha uma vantagem sobre os modelos nucleares (planetários) que surgiam no período: a

estabilidade mecânica (LOPES, 2009). Vale lembrar ainda que a produção deste modelo é desdobramento do resultado de diversas pesquisas feitas por Thomson e outros com o tubo de raios catódicos, que permitiram um entendimento maior sobre a natureza destes raios e a natureza elétrica da matéria.

A explicação a respeito da espectroscopia dada por Thomson relacionava os espectros às vibrações dos corpúsculos nos átomos. Por isso, átomos com distribuições parecidas (no mesmo grupo da Tabela de Mendeleev) tinham espectros parecidos. Sobre o enlace químico, a explicação de Thomson baseava-se na transferência de corpúsculos negativos entre dois átomos, um com atração mais forte pelos seus corpúsculos e outro com a atração mais fraca. O segundo perdia corpúsculo(s) para o primeiro e depois, em virtude do desequilíbrio de cargas, eles se atraíam para formar a ligação química, de acordo com leis eletrostáticas. Este modelo de ligação é substancialmente próximo do que se utiliza hoje para a ligação iônica (LOPES, 2009). O modelo, por ser bem justificado matematicamente e por trazer explicações para fenômenos estudados na época – como a radioatividade, a fotoeletricidade, emissão e dispersão da luz, efeito Zeeman e a tabela periódica –, foi bastante utilizado principalmente em áreas como a físico-química e a química orgânica. (LOPES, 2009; KRAGH, 2010)

É comum os livros-texto fazerem uso de analogias inadequadas para tratar do átomo de Thomson (LOPES; MARTINS, 2009). Trata-se de um curioso caso em que o modelo é identificado com a analogia de tal maneira que é como se a analogia fosse o próprio modelo. Podemos sublinhar a analogia mais famosa, conhecida como pudim de passas, pudim de ameixas ou "*plum pudding*", que na realidade é uma tradicional sobremesa natalina de origem inglesa que pouco se parece com o modelo proposto por Thomson. Além disso, tal sobremesa é desconhecida para a maioria do público nacional que, não obstante, depara-se quase que obrigatoriamente com esta analogia no estudo de modelos atômicos no ensino médio. Recentemente, um estudo (HON; GOLDSTEIN, 2013) apontou que a provável primeira ocorrência (por escrito) da expressão "*plum pudding*" em referência ao modelo atômico de Thomson teria ocorrido em dezembro de 1906, em uma publicação intitulada "*Merck's Report*", que tinha o objetivo de divulgação dos avanços recentes da ciência entre os farmacêuticos. Naquela edição, podia-se ler (tradução nossa):

> *"O Professor Thomsom sugere que... enquanto a eletricidade negativa está concentrada no corpúsculo extremamente pequeno, a eletricidade positiva é distribuída através de um volume considerável. Um átomo consiste, então, de pequenas partículas, os corpúsculos negativos, nadando em*

> *uma esfera positivamente eletrificada, como passas em um frugal pudim de ameixas*[5]*, as unidades de eletricidade negativo sendo atraídas para o centro, ao mesmo tempo que se repelem umas às outras."* (MERCK'S REPORT *apud* HON, GOLDSTEIN, 2013)

Não nos posicionamos aqui contra analogias, no entanto, é importante analisar a razoabilidade das mesmas antes de utilizá-las. Nesse sentido, procuraremos neste trabalho nos afastar desta analogia em específico para evitar a formação de imagens inadequadas a respeito do modelo pelos alunos, conforme estudado por Lopes e Martins (2009).

Apesar da quase hegemonia do modelo de Thomson na virada do século XIX para o século XX, neste período houve o desenvolvimento de diversos modelos planetários que permitiram avançar no conhecimento a respeito da estrutura atômica e suas consequências nas ligações químicas e na espectroscopia, por exemplo.

IV.3.2 Os átomos planetários de Perrin, Nagaoka, Rutherford e Nicholson

Jean Perrin foi um cientista francês que ficou conhecido principalmente pela sua atuação na determinação do número de Avogadro por meio de vários métodos diferentes, a partir de experimento envolvendo o movimento browniano (Chagas, 2011). O trabalho sobre o movimento browniano levou Perrin ao prêmio Nobel de física em 1926 (KRAGH, 2010).

Esse trabalho pesou de forma decisiva no conjunto de evidências a favor da aceitação da hipótese atômico-molecular. Importante destacar que essa era uma questão controversa na época, entre atomistas e antiatomistas, em que muitos dos que negavam a existência de átomos se apoiavam na filosofia positivista, que teve como seu principal nome Auguste Comte (op.cit). Segundo esta corrente de pensamento, o átomo seria uma mera especulação, uma fantasia. No contexto do debate entre continuístas e atomistas durante o século XIX, Jean A. Dumas (1800 – 1884) chega a afirmar: "*Se eu fosse o mestre, apagaria a palavra átomo da ciência, persuadido que ele vai mais longe que a experiência; e na química, nunca devemos ir mais longe que a experiência*" (OKI, 2009). No entanto, uma face pouco conhecida do cientista reside no fato de que Perrin foi provavelmente o primeiro a utilizar o modelo planetário para descrever o átomo, baseado em elétrons (KRAGH, 2010). Como descreve Perrin (tradução nossa):

[5] "a parsimonious plum pudding" na versão original.

> *"Cada átomo será constituído, de uma parte, por um ou várias massas muito carregadas com eletricidade positiva, como sóis positivos cujas cargas serão bem superiores àquela de um corpúsculo, e, de outro lado, por uma multiplicidade de corpúsculos, como pequenos planetas negativos, [...] com a carga total negativa exatamente equivalente à carga positiva total, de tal forma que o átomo é eletricamente neutro."* (PERRIN *apud* KRAGH, 2010).

Embora a analogia dos modelos planetários já houvesse surgido algumas décadas antes do estabelecimento do elétron (KRAGH, 2010), o modelo de Perrin parece ter sido o primeiro em que esta analogia incluía os elétrons. Vale destacar que os elétrons estavam no centro dos debates sobre estrutura da matéria na época, impulsionados pelos experimentos com tubos de Crookes.

> *"Os planetas negativos que pertencem a dois átomos diferentes são idênticos; se admitir-se que os sóis positivos são idênticos entre eles, a totalidade do universo material seria formada pelo agrupamento de duas espécies somente de elementos primordiais, a eletricidade positiva e a eletricidade negativa.*
> *Se uma força elétrica suficiente age sobre um átomo ele pode destacar um dos pequenos planetas, um corpúsculo (formação dos raios catódicos). Mas será duas vezes mais difícil destacar um segundo corpúsculo em razão do excesso de carga positiva total, não alterada, sobre a carga negativa restante. E será três vezes mais difícil destacar um terceiro corpúsculo, e assim, quando os meios de ação tiverem acabado, não conseguiremos arrancar mais nada do átomo, o que acaba explicando sua aparente indivisibilidade."* (PERRIN *apud* SILVA, 2010)

Perrin, a partir do fragmento acima, dá coerência ao seu modelo para o átomo com relação ao conhecido fenômeno dos raios catódicos e, além disso, sugere explicações a respeito da radioatividade, indicando prováveis aplicações ao estudo da espectroscopia (KRAGH, 2010). No entanto, Kragh (*op. cit.*, p. 36-7) considera que este modelo "*não foi nada além de um esboço e provavelmente não almejava ser mais do que isso*" uma vez que "*ele não tentou calcular as configurações dos elétrons planetários e não mostrou interesse na estabilidade de suas órbitas*".

Para esta dissertação, selecionou-se o trabalho de Perrin pelo fato de ele ter sido o primeiro modelo planetário razoavelmente justificado a utilizar elétrons e, portanto, dar corpo a uma ideia de átomo com núcleo que vinha sendo reproduzida no final do século anterior como uma imagem ou especulação. Sua inclusão, também, visava quebrar a ideia de linearidade entre os modelos, uma vez que Perrin publicou o artigo com a sua proposta em 1901, três anos antes de Thomson propor seu átomo.

Ainda no ano em que Thomson propõe seu conhecido modelo para o átomo, surge outra proposta de átomo planetário, que ficou como conhecida como “modelo saturniano”. Essa proposta era uma analogia não só ao planeta saturno como, também, ao ensaio de Maxwell de 1856 sobre a estabilidade mecânica dos satélites presentes nos anéis de Saturno (KRAGH, 2010).

O seu proponente, o japonês Hamtaro Nagaoka (1865 – 1950), graduou-se em física na Universidade de Tóquio, tendo concluído seus estudos de doutorado na mesma universidade, com professores europeus. Depois disso, Nagaoka passou uma temporada na Europa em estágio pós-doutoral, trabalhando com Ludwig Boltzmann, onde tomou conhecimento dos estudos de Maxwell acima mencionados (LOPES, 2009).

Cabe ressaltar que esta marca europeia na formação de Hamtaro é fruto da política científica japonesa, que vivia nesta época (final do século XIX) a Restauração Meiji, ou seja, o fim do feudalismo e a abertura do Japão a relações político-econômicas com outros países. Neste contexto, também, surgem os centros educacionais em ciência e tecnologia que deram origem à Universidade de Tóquio e foram criadas as Universidades Imperiais de Tohoku, Kyushu e Hokkaido, cujas cátedras foram ocupadas inicialmente por professores de nacionalidade europeia (LOPES, 2009). Assim sendo, mesmo sendo Nagaoka japonês, não podemos dizer que os seus valores científicos, ou em última instância, a ciência por ele produzida era original em relação ao que vinha sendo desenvolvido na Europa, uma vez que ele foi formado por professores europeus e lá complementou sua formação. Ele compartilhou o contexto, portanto, com todos os demais personagens desta narrativa.

O modelo atômico proposto por Nagaoka constava de uma grande massa central carregada positivamente que atraía cargas negativas de massas iguais e que se repeliam entre si. Essas cargas negativas giravam em um anel circular e estavam distribuídas a intervalos angulares iguais. Tanto as repulsões elétron-elétron quanto a atração elétron-massa central poderiam ser compreendidas pelas leis de Coulomb. As equações do movimento do anel de elétrons foram obtidas a partir do artigo de Maxwell que analisava o sistema saturniano, mudando apenas os satélites por elétrons negativos e o centro atrativo por uma massa positiva. (LOPES, 2009). Nas palavras de Nagaoka, seu sistema atômico (tradução nossa):

> *“consiste de um grande número de partículas de massa igual arranjadas em um círculo a intervalos angulares iguais e repelindo umas às outras com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância; no centro do círculo,*

> *há uma partícula de grande massa atraindo as outras partículas de acordo com a mesma lei de força. Se estas partículas mantêm-se girando em torno do centro atrativo com aproximadamente a mesma velocidade, o sistema se manterá geralmente estável, para pequenas perturbações, desde que a força de atração seja suficientemente grande"* (NAGAOKA *apud* KRAGH, 2010)

O modelo de Nagaoka procurava explicar as frequências de bandas espectrais em espectros de emissão, além disso, Nagaoka acreditava que seu modelo possuía implicações a respeito da radioatividade, luminescência, ressonância, "afinidade química e valência, eletrólise e muitos outros temas ligados a átomos e moléculas", mesmo resguardando suas conclusões, dizendo que "o arranjo atual de um átomo químico deve apresentar complexidades que estão muito além do tratamento matemático". (KRAGH, 2010: p. 38). Na época, os cálculos de Nagaoka foram duramente criticados por George Shott, no atual Reino Unido. Schott chegou à conclusão de que o sistema proposto por Nagaoka possuía instabilidade mesmo para átomos grandes, que possuíam radioatividade natural (LOPES, 2009), e que a alegada concordância com os experimentos não era real, já que o modelo proposto não seria capaz de gerar o número de ondas observado em um espectro de bandas ou um espectro discreto (KRAGH, 2010). O modelo também foi criticado por Thomson e desapareceu de cena após ser abandonado pelo próprio Nagaoka em 1908 (LOPES, 2009; KRAGH, 2010).

Outro modelo que surge no mesmo contexto é o modelo de John William Nicholson (1881 – 1955), um cientista inglês que desenvolveu trabalhos principalmente nas áreas de física, matemática e astroquímica. No seu primeiro artigo a respeito do modelo atômico, em 1911, não havia referências às experiências de espalhamento de partículas alfa, realizadas no laboratório de Rutherford. Baseado no sistema atômico de Thomson (aproveitando especialmente a estabilidade matemática deste modelo) e no modelo saturniano de Nagaoka, (LOPES, 2009; LOPES, MARTINS, 2007), o modelo de Nicholson pode ser entendido como uma adaptação do modelo de Thomson na qual a "esfera de carga positiva" foi encolhida até um tamanho bem menor que o raio de um elétron (McCORMMACH, 1966). Sendo assim, seu modelo passa a ser um modelo planetário, como uma carga positiva no centro e com elétrons em órbitas. Ao contrário de Rutherford, que não chama o centro do seu modelo planetário de núcleo, Nicholson o faz, ainda que não seja o inventor da expressão (KRAGH, 2010). A intenção de Nicholson era derivar todos os pesos atômicos de elementos químicos a partir da combinação de certos proto-átomos

(coronium, hidrogenium, nebulium e protofluorine), que ele supunha existirem na forma livre apenas no meio interestelar (LOPES, 2009; KRAGH, 2010).

Este modelo é visto como importante para a história da ciência por dois grandes motivos: ele foi o primeiro a citar a hipótese de quantização da energia de Max Planck como suporte para o modelo desenvolvido, embora toda a justificação matemática se baseasse em leis clássicas (McCORMMACH, 1966). Em segundo lugar, a sua teoria era capaz de predizer fenômenos. Observando o espectro da coroa solar, Nicholson foi capaz de, utilizando seu modelo teórico, prever a próxima linha espectral que faltava em suas medições. Posteriormente, outros cientistas encontraram em um espectro registrado durante um eclipse a linha prevista por Nicholson (LOPES, 2009). Conforme ressaltado por McCormmach (1966), Bohr destacou o trabalho de Nicholson em suas publicações e isso é um forte indício da importância do trabalho de Nicholson no desenvolvimento das concepções de átomo no início do século XIX.

Talvez o personagem mais conhecido quando se fala em modelos atômicos planetários seja Ernest Rutherford (1871 – 1937). Rutherford dá uma interpretação própria para os resultados dos experimentos de Geiger e Marsden mencionados na seção anterior. Ele propõe um modelo planetário de átomo para explicar o experimento.

Para Rutherford, as partículas alfa sofriam deflexões de ângulo superior a 90º em virtude de um choque único destas partículas com um centro de massa altamente carregado. Centro esse responsável por praticamente toda a massa de cada átomo. Por isso, ele sugeriu que o átomo seria composto de um pequeno centro de carga e massa bastante concentradas, envolto em uma nuvem de cargas opostas a esta carga central. (KRAGH, 2010) Rutherford não apontou inicialmente se a carga central seria positiva ou negativa. Apenas quando passou aos cálculos de número de partículas e de propriedades da matéria é que assumiu, por conveniência, o núcleo como sendo positivo. Conforme Kragh (2010) menciona, este modelo proposto por Rutherford em artigo de 1911 não tem grande repercussão no meio acadêmico e é tratado até com certa indiferença.

O interessante da participação de Rutherford neste contexto foi o seu ataque ao modelo de Thomson, ao mostrar que este modelo, amplamente utilizado até então, não era coerente com os dados obtidos do experimento da folha de ouro. Rutherford na realidade focava suas pesquisas mais na radioatividade do que na elucidação da

estrutura do átomo, porém, a surpresa com as partículas que desviavam no experimento o atraiu bastante e ele resolveu trabalhar em cima de seu próprio modelo.

IV.3.3 O átomo de Niels Bohr

Largamente citado e lembrado nos livros-texto, Niels Henrik David Bohr (1885 – 1962) foi um cientista de origem dinamarquesa e que é especialmente conhecido pela publicação de sua trilogia “Sobre a constituição de átomos e moléculas”, onde defendeu um modelo planetário para o átomo.

Bohr tinha um pai professor de psicologia da Universidade de Copenhagen e sua mãe pertencia a uma família judia importante na Dinamarca. Teve uma ótima educação formal e o ambiente familiar o propiciou uma atmosfera de intensas discussões filosóficas e acadêmicas (FOLSE, 1985). Bohr graduou-se pela Universidade de Copenhagen onde obteve seu mestrado e o doutorado mas de lá seguiu para Cambridge, em 1911, para continuar seus estudos sobre a teoria dos elétrons nos metais (o tema de sua tese) no Laboratório Cavendish, então dirigido por Thomson. Bohr acreditava, nesse momento, que tal teoria, como desenvolvida até então tinha problemas. (Kragh, 1999) Ainda neste ano, Bohr manifestou em cartas o seu interesse e entusiasmo com a teoria quântica, proposta por Max Planck em 1900. Em Manchester, entre final de 1911 e 1912, Bohr conheceu Rutherford e diversos outros cientistas, como Marsden, Geiger e Darwin. Bohr trabalhou com Rutherford, os dois tiveram um relacionamento de grande amizade. Bohr adotou o modelo proposto por Rutherford e o explorou. Destacou que a adoção do modelo nuclear implicava separar as propriedades químicas referentes aos elétrons periféricos das propriedades radioativas relacionadas ao núcleo, indicando uma relação entre número atômico e o número de elétrons. Cabe destacar, que o modelo nuclear o levou a considerar as transformações radioativas como transformações do próprio núcleo (ROSENFELD, 2007).

No primeiro dos três artigos famosos de 1913, publicados no periódico *Philosophical Magazine*, Bohr apresenta alguns dos modelos disponíveis na época, em especial os modelos de Thomson e de Rutherford, ressaltando que o segundo era instável do ponto de vista clássico e que isso demandava a inserção de novas explicações sobre a estrutura atômica baseadas no *quantum* elementar de ação de Planck. A publicação de estudos sobre diferentes fenômenos naquele momento (Raios-X, efeito fotoelétrico, calores específicos) parecem apontar, segundo Bohr, para

a necessidade de uma reelaboração da estrutura atômica sobre uma base quântica. (LOPES, 2009)

Bohr focou no átomo de hidrogênio, no espectro desse átomo conhecido na época para dar suporte experimental a alguns de seus principais argumentos, dos quais destacamos dois (Kragh, 1999). O primeiro refere-se a não existência de radiação contínua de energia do elétron, ou seja, o elétron descreve órbitas elípticas estacionárias, estando em equilíbrio dinâmico, portanto. Este equilíbrio pode ser estudado segundo a mecânica ordinária. O segundo destaca que a radiação de energia ocorreria de maneira discretizada e que esta transição de estados não acontece de forma contínua, podendo ser descrita apenas pela teoria de Planck. Dessa forma, pode-se dizer que Bohr deu um passo em direção à mecânica quântica, mas mantendo parte de sua descrição ainda na mecânica clássica. Essa questão aparece não apenas neste trecho do artigo de 1913, mas em outros ao longo do artigo, como *"Embora obviamente não hajam dúvidas a respeito do fundamento mecânico dos cálculos apresentados neste artigo, é possível, contudo, dar uma interpretação muito simples para o resultado do cálculo da p. 5 com a ajuda de símbolos da mecânica usual"* (BOHR, 1913: p. 14; tradução nossa)

As justificativas de Bohr no artigo são em alguns momentos permeadas pelos trabalhos anteriores de Nicholson. Através do que Nicholson desenvolve, Bohr insere a discussão sobre momento angular e, por conseguinte, o quantum elementar de ação. Nicholson afirma que o modelo criado por Bohr, ainda que com ajustes, é capaz de explicar apenas sistemas monoeletrônicos, ou seja, átomos hidrogeniônicos, mas Bohr rechaçará este ponto de vista. Segue-se, então, um debate substantivo em periódicos como o *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *Philosophical Magazine* e *Nature*. O modelo de Bohr, apesar das críticas principalmente de Nicholson (mas também de J. J. Thomson) e dos problemas contidos nele, sai vitorioso do debate, pois é capaz de produzir uma profícua linha de pesquisa, dando origem à teoria quântica. (LOPES, 2009)

Os outros dois artigos da trilogia detalham melhor a estrutura do átomo baseando-se na estrutura de Rutherford e procurando explicar também alguns fenômenos como os de ligação química e radioatividade. Bohr considerou seu modelo válido para átomos químicos maiores que o átomo de hidrogênio (KRAGH, 1999). Bohr destacou que os fenômenos e propriedades descritas por ele, à exceção da Radioatividade, estão todas relacionadas com a eletrosfera, sua estrutura e mudanças. Também fica claro nestes artigos que muitos de seus argumentos para

explicar os fenômenos têm base na mecânica clássica. No entanto, não há dúvidas sobre o impacto que o modelo atômico de Bohr teve no desenvolvimento dos modelos atômicos seguintes, visto que logo após sua publicação, muitos artigos discutiam as propostas de Bohr e outros modelos como os de Sommerfeld, Pauli (e outros) que ampliavam e consolidavam a teoria quântica.

IV.4 O atomismo na virada de século sob um novo olhar: evidenciando questões de Natureza da Ciência

Observando esta narrativa em três eixos, alguns aspectos de Natureza da Ciência (que já abordamos na introdução) ficam bastante evidentes. Elas serão, conforme abordado na introdução, as questões-chave a serem trabalhadas junto aos alunos.

1) **A relação do desenvolvimento científico com o contexto cultural.** Ao longo do texto, vários exemplos a respeito da controvérsia discreto *versus* contínuo foram destacados. Desde a técnica de pintura pontilhista até o debate sobre a natureza da luz, a controvérsia discreto *versus* contínuo foi o que podemos chamar de uma controvérsia bem colocada a respeito desta oposição entre ideias. A própria criação de instrumentos que permitiram o avanço no entendimento sobre a estrutura da matéria está atrelada a uma gama de possibilidades e invenções de um determinado contexto sócio-histórico-cultural, como procuramos demonstrar ao longo de todo o texto.

2) **A ciência como um empreendimento coletivo e não de grandes gênios isolados.** A abordagem feita pelos livros didáticos, que exclui alguns dos personagens e simplifica demais a narrativa, gera a ideia de que a ciência é celeiro de grandes ideias nascidas em grandes mentes. A ideia de incluir personagens historicamente excluídos vai justamente de encontro a essa visão de ciência irreal, especialmente ao trazer outros diversos cientistas que contribuíram muitas vezes de forma até mais decisiva, no caso dos modelos planetários para o átomo.

3) **O papel dos modelos nas ciências** como forma de explicar evidências experimentais ou não e responder questões espaço-temporalmente localizadas. Cada cientista e cada modelo tinham a sua particularidade no que diz respeito às questões que procurava responder, à ênfase dada em

> determinadas características, sempre com um propósito específico. Isso se refletia no modelo construído por cada cientista.

Outras questões como a relação do experimento com as teorias construídas e o combate à visão empírico-indutivista, questões de gênero e etnia, entre outros pontos de discussão sobre a ciência também estão implícitos no recorte histórico escolhido. Mas em função dos obstáculos de tempo didático e com o objetivo de focar apenas alguns aspectos, nos restringimos a trabalhar apenas estes conceitos de forma aprofundada.

V. Narrando a pesquisa e analisando os resultados

Pelas características da pesquisa-ação, decidimos organizar esta dissertação de modo um pouco diferente do habitual. Em vez da divisão entre resultados e discussão, optamos por uma narração das etapas da pesquisa-ação divididas em módulos que procuram estabelecer alguns momentos da pesquisa de acordo com os objetivos epistemológicos para cada um deles e descrevendo os resultados obtidos em cada etapa. Acreditamos estar promovendo desta forma uma compreensão mais orgânica dos resultados. No comentário final da dissertação, para um melhor entendimento dos resultados, faz-se uma análise conjunta destes.

Porém, antes da narração propriamente dita, descrevemos na próxima seção o ambiente da pesquisa para que o leitor possa entender o contexto que envolve os resultados obtidos neste trabalho.

V.1 Descrevendo o ambiente de pesquisa

V.1.1 O Colégio de Aplicação

Esta pesquisa foi desenvolvida durante os meses de março, abril e maio de 2014 no Colégio de Aplicação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CAp UFRJ), um colégio público da rede federal localizado na Lagoa, um bairro de classe média alta da Zona Sul do Rio de Janeiro. O CAp UFRJ tem natureza administrativa um pouco diferente dos demais colégios públicos da rede federal de ensino, pois constitui-se de uma unidade da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), tendo como principal vocação ser o campo de estágio de formação de professores do ensino básico que cursam as licenciaturas da UFRJ e de outras universidades localizadas no Estado do Rio de Janeiro.

Estas características fazem do CAp UFRJ um colégio bastante singular. A forte presença dos licenciandos faz parte da cultura da escola e sua coparticipação em sala de aula nas mais diversas disciplinas, rotinas de regência e atuação nas atividades e espaços diversos do cotidiano escolar são encaradas de maneira natural pelos alunos. No CAp UFRJ também é bastante comum a cultura da pesquisa entre os professores. Boa parte dos docentes tem doutorado (a grande maioria tem ao menos mestrado nas áreas de educação ou de sua própria disciplina) e alguns participam de programas de

pós-graduação e projetos de pesquisa tanto internos ao Colégio de Aplicação como de outras unidades da UFRJ e fora dela.

O CAp UFRJ oferece vagas desde o primeiro ano do ensino fundamental (antiga classe de alfabetização) até o terceiro ano do ensino médio, em classes de ensino fundamental e médio regulares. Os alunos do primeiro ao 5º ano têm aulas no turno da tarde e os demais (6º ano do fundamental ao 2º ano do médio) têm aulas no turno matutino. A exceção fica por conta do 3º ano do ensino médio, que tem aulas em tempo integral. Existem duas turmas para cada série do ensino fundamental e no ensino médio são três turmas por série, contando com 30 alunos em média em cada turma.

A admissão ao colégio é feita no primeiro ano de ensino fundamental por meio exclusivamente de sorteio e no primeiro ano do ensino médio, por meio de prova de nivelamento (onde os alunos devem ter um rendimento mínimo para aprovação), seguido de sorteio. O colégio é amplamente conhecido na sociedade civil pela qualidade do seu ensino e é procurado todos os anos por diversas famílias interessadas em matricular seus filhos. Dessa forma, apesar de estar localizado em área nobre da cidade, o alunado do CAp é constituído por uma rica mistura entre alunos moradores da zona sul, zona norte e oeste (além de alguns de outros municípios) e de faixas de renda absolutamente distintas: em uma mesma turma podemos ter alunos moradores de comunidades carentes e outros que fazem viagens internacionais durante as férias. Isto certamente é reflexo do modelo de seleção, embora a escola não adote nenhum sistema de ações afirmativas.

Administrativamente, o CAp é constituído da direção geral, à qual estão subordinadas algumas seções administrativas, comuns em todas unidades acadêmicas da universidade, como almoxarifado, setor de RH, secretaria da direção (entre outros) e alguns setores com funções pedagógicas específicas, como o Setor de Orientação Educacional (SOE) e a Direção Adjunta de Ensino (DAE). O primeiro é constituído de uma equipe de pedagogas que é responsável por um acompanhamento acadêmico, formativo e emocional dos alunos, além de estar em contato direto com as famílias dos mesmos. O SOE dá suporte aos alunos que estão em situação acadêmica delicada e acompanha mais de perto eventuais problemas de socialização, de comportamento e eventuais dificuldades cognitivas que venham a se apresentar ao longo do processo educativo. A DAE é o setor responsável pela organização de calendários e horários, gerenciamento de reuniões e, em articulação com o SOE, faz o acompanhamento acadêmico dos alunos, além de ser o setor responsável pela gestão

disciplinar da escola. De forma resumida, os quatro professores (deslocados de suas funções de sala de aula) que estão à frente da DAE são o braço da direção geral para assuntos de ensino, lidando diretamente com as turmas e professores). A DAE também faz atendimento aos pais de alunos, em especial com problemas de comportamento, e é a instância superior aos setores curriculares.

Os setores curriculares são instâncias acadêmicas que congregam professores de uma mesma disciplina ou, no caso do setor multidisciplinar, os professores do primeiro segmento do ensino fundamental. Cada setor tem um coordenador e são promovidas reuniões semanais da equipe para discussão de informes, assuntos pedagógicos, planejamento das turmas, estratégias didáticas, projetos de pesquisa e assuntos administrativos.

Do ponto de vista do ensino de ciências na escola, o que chama a atenção é a forte presença do Núcleo de Iniciação Científica Jr, o NIC-Jr. Através desta unidade, os alunos da primeira e segunda séries do ensino médio engajam-se no cotidiano de diversos grupos de pesquisa, alguns dentro da escola, mas principalmente externos, localizados em centros de pesquisa como o CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas), a FIOCRUZ (Fundação Instituto Osvaldo Cruz), o IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada) e principalmente a própria UFRJ. Os alunos selecionados para participar desta atividade são agraciados com uma bolsa de Iniciação Científica Jr.

O CAp possui ainda um Clube de Ciências, coordenado pelo setor curricular de biologia e ciências, no qual alguns alunos de ensino médio participam de atividades no contraturno e o Núcleo de Atividades em Física (NAF), coordenado por um professor do setor curricular de Física, funcionando também no contraturno com atividades para os alunos com especial interesse na disciplina. Há ainda outros projetos de destaque como o “Aprender Brincando”, coordenado por uma professora do setor de química, mas que na verdade trata-se da exploração de atividades que envolvam artes, cultura digital e afetividade por meio do lúdico. O projeto possui um tema anual e é feito em parceria principalmente com o setor de artes. Cabe ressaltar que este setor curricular possui destaque na escola. O ano letivo costuma ser permeado por exposições (de fotografias, pinturas), apresentações (musicais, de artes cênicas para o público interno e até externo) e intervenções artísticas (pintura dos muros internos e externos da escola) no espaço escolar promovidas ou apoiadas pelo setor de Artes. No ensino fundamental, os alunos praticam em seu currículo artes visuais e mais uma à sua escolha (entre musicais e cênicas). No ensino médio, os alunos podem escolher uma dentre as três modalidades.

O descrito acima caracteriza o CAp de uma forma ampla como sendo uma escola de perfil mais humanista do que técnico. A escola, consoante com sua própria vocação de ser campo de estágio das licenciaturas, possui uma série de rotinas e destina várias reuniões a articular as ações docentes e a orientação de licenciandos. A seguir, buscaremos caracterizar melhor as turmas pesquisadas e o currículo do CAp.

V.1.2 As turmas e o currículo de química do CAp UFRJ

O Colégio de Aplicação conta com nove turmas de ensino médio com três turmas para cada uma das três séries. O professor/pesquisador atuou nas três turmas de primeiro ano de ensino médio. Essa distribuição foi previamente combinada com a coordenação no ano anterior, uma vez que o tema atomismo é abordado pela primeira vez no primeiro ano do ensino médio. Das três turmas, duas foram escolhidas para terem suas aulas filmadas e acompanhadas: serão identificadas aqui como turmas X e Y. Escolher duas turmas das três permitiu que os dados pudessem ser analisados de forma mais pormenorizada, conforme preconizado em uma investigação qualitativa. A turma W foi preterida para análise apenas devido a distribuição de aulas semanais das três turmas. Os tempos de aula da turma W eram invertidos em relação às outras duas turmas, isto é, eles possuíam primeiro uma aula de 100 minutos na semana e depois uma aula de 50 minutos, ao passo que as outras duas turmas possuíam primeiro a aula de 50 minutos e depois a de 100 minutos. Essa variação faria diferença no planejamento da pesquisa, e, em especial, naquele referente às atividades propostas para a sala de aula. Cabe destacar, entretanto, que a mesma sequência didática foi aplicada às três turmas.

Passaremos agora à caracterização das turmas selecionadas para a pesquisa. Essa caracterização tem como base as informações repassadas pelo SOE em reuniões de série (que são reuniões que congregam todos os docentes das turmas de uma determinada série, além dos coordenadores do SOE e da DAE daquelas turmas) e também obtidas em um questionário de sondagem aplicado no primeiro dia de aula, do qual falaremos em detalhes mais à frente.

Antes de caracterizar individualmente cada turma, vale ressaltar que este grupo que iniciou o ensino médio teve uma série de peculiaridades em relação às turmas de outros anos. Em primeiro lugar, as turmas são maiores que os tradicionais 30 alunos por turma. Isso aconteceu em virtude da seleção para o ensino médio que admitiu 36 e não os habituais 30 alunos. Somados a este, oito alunos foram retidos na série no ano

de 2013, resultando um total de 104 alunos na primeira série de 2014, o que resultou (depois de alguns cancelamentos de matrícula) em uma turma X com 35 alunos e a turma Y com 32 alunos. A turma X é composta de 17 meninas e 18 meninos e a turma Y possui 14 meninas e 18 meninos. Portanto são turmas equilibradas em termos de gênero. A respeito da idade, 54 alunos completarão 15 ou 16 anos em 2014. Do restante, 1 aluno completará 14 anos, 10 alunos completarão 17 e 2 alunos, 18 anos em 2014. A distorção idade-série, portanto, não é um fator preponderante. No caso do ingresso no CAp UFRJ, na turma Y, são 11 alunos oriundos do concurso para o ensino médio, dos quais apenas um fora aluno de escola pública; os outros 21 já eram alunos do CAp (4 retidos e os demais do 9º ano). Na turma X, essa proporção é de 12 alunos novos (3 de escolas públicas) e 23 antigos alunos do CAp (3 retidos e os demais do 9º ano). Vale ressaltar que dos alunos provenientes de escolas particulares, tanto da turma X quanto da turma Y, não havia predominância de nenhuma escola em específico, não podemos afirmar nem mesmo que as escolas de origem eram de renome ou conhecidas por educar os filhos de famílias de alto poder aquisitivo. A origem de escolas é bem diversificada. Ao mapearmos os locais de moradia dos alunos, fica evidente a pluralidade ressaltada na caracterização mais geral do CAp UFRJ. Na turma X, dos alunos cujas informações puderam ser mapeadas até a primeira reunião de série, 14 eram moradores da zona norte, 8 da zona sul, 6 da zona oeste, 1 do centro e 3 de outros municípios (Caxias e Niterói). Na turma Y, 13 residiam na zona norte, 11 na zona sul, 4 na zona oeste e 1 no centro. Embora a Lagoa seja um bairro bem acessível tanto da zona norte quanto da zona oeste, através de vias de grande circulação, o impacto do deslocamento é sempre perceptível em especial nos alunos moradores de outros municípios, recorrentemente atrasados ou com sono durante as aulas.

No quadro abaixo, procuramos sintetizar as informações apresentadas:

Quadro V.1: Síntese da caracterização das turmas pesquisadas

	Turma X	**Turma Y**
Quantidade de alunos	35	32
Distribuição por gênero	17 meninas 18 meninos	14 meninas 18 meninos
Relação idade-série	Nas três turmas (inclusive a não-pesquisada): 1 aluno completará 14 anos, 2 farão 18 e 10 farão 17 anos. Os demais estão entre 15 e 16 anos.	
Histórico acadêmico	23 alunos do CAp em 2013 12 alunos novos	21 alunos do CAp em 2013 11 alunos novos
Local de moradia	14 da Zona Norte	13 da Zona Norte

	8 da Zona Sul 6 da Zona Oeste 1 do Centro 3 de Caxias ou Niterói 3 sem informação	11 da Zona Sul 4 da Zona Oeste 1 no Centro 3 sem informação

Fonte: Dados da Pesquisa

A respeito destas turmas havia uma expectativa sobre como seriam estes novos grupos. As turmas de 9º ano de 2013 eram avaliadas pelo SOE e pelos professores como desrespeitosas (entre si e com professores), muito agitadas, dependentes e imaturas. Porém, como no primeiro ano do ensino médio há a entrada de novos alunos e o sorteio de todos (antigos e novos) para definir a enturmação, esperava-se que com a nova organização houvesse uma reconfiguração da dinâmica de sala de aula dessas turmas e uma reacomodação dos alunos e da relação entre eles. Após a reorganização notou-se que muitos grupos considerados problemáticos no 9º ano foram desfeitos e a "diluição" em três turmas foi algo benéfico, julgando-se prós e contras. As três turmas mostraram-se um pouco agitadas, mas não de uma forma que atrapalhasse o trabalho desenvolvido em sala. As duas turmas escolhidas para pesquisa, também, apresentavam boa dinâmica de sala de aula. Na turma X, alguns alunos muito interessados e participativos, outros que não se envolvem muito nas atividades ou na interação com o professor durante as explicações. Na turma Y, esta observação se repete, com algumas diferenças como a existência de um grupo de alunos extremamente interessados e curiosos, sobretudo. Em ambas as turmas, há alunos com grande dificuldade de leitura e expressão escrita, um deles inclusive tendo sido alfabetizado apenas no ensino fundamental II. Cada turma possui suas particularidades que ficarão mais evidentes na narração do caminhar da pesquisa-ação desenvolvida em cada uma das duas turmas.

Sobre o currículo de química (e de ciências), vale ressaltar que o CAp UFRJ possui algumas diferenças fundamentais em relação às outras escolas, a começar pela distribuição de carga horária no ensino médio. As disciplinas de química e de física possuem cada uma delas 3 tempos de aula semanais no primeiro e segundo ano do ensino médio e 6 tempos semanais no terceiro ano do ensino médio. A biologia começa com 3 tempos no primeiro ano, passa a 4 tempos no segundo ano e a 5 tempos semanais no terceiro ano. Isso se difere de outras escolas onde biologia tem carga horária menor que as disciplinas de química e física. Essa organização curricular impacta diretamente as turmas de primeiro e segundo ano. Tradicionalmente, a ementa de química do primeiro ano começa com aspectos macroscópicos da matéria e se estende até relações estequiométricas, incluindo a

química pneumática quantitativa. No CAp UFRJ, a ementa sugerida vai apenas até as funções inorgânicas no primeiro ano, excluindo o estudo da grandeza mol, as proporções estequiométricas e a química dos gases. Este corte na ementa, a um primeiro olhar desatento, sugere que haveria mais tempo para trabalhar os conceitos, mas na realidade com a carga horária semanal de 3 tempos isto não acontece.

V.1.3 O professor-pesquisador

Nesta seção, será descrito o professor regente que também é o condutor da pesquisa e escritor deste trabalho de dissertação. Pretendo, portanto, colocar-me numa posição de distanciamento para observação tanto da minha própria trajetória pessoal, quanto de uma caracterização sobre quem é o docente em questão. Um exercício tanto difícil quanto fundamental para entender a pesquisa-ação desenvolvida de forma mais holística, já que o docente/pesquisador é também um agente da ação pesquisada.

O docente envolvido na ação é do gênero masculino, possui 24 anos de idade e formou-se no curso de licenciatura em química em 24 de abril de 2013, ingressando no CAp UFRJ em 6 de maio de 2013. Ainda durante o ensino fundamental até o início do ensino médio foi monitor de informática em uma escola de computação, professor de informática para crianças carentes e ministrou “aulas de reforço” a alunos mais jovens. Em 2007 e 2008, último ano do ensino médio e primeiro da faculdade, respectivamente, lecionou química por curtos períodos em um curso pré-técnico social. Depois de um hiato de alguns anos, voltou a lecionar em 2012, no projeto de extensão do CEFET/RJ “Curso Comunitário Pré-Vestibular para Negros e Carentes”, atuando até o final de 2013 e onde hoje (2014) é apenas coordenador pedagógico. Em 2013, lecionou para turmas do primeiro ano do ensino médio do CAp UFRJ e em 2014 foi professor regente da mesma série.

Langhi e Nardi (2012), citando outros autores, classificariam esse professor como professor principiante, que segundo Pacheco (*apud* LANGHI; NARDI, 2012) é aquele que ainda não completou seus três anos de carreira após ter se graduado. Diversos autores apontam para as tensões inerentes ao processo de passar de estudante (de um curso de formação inicial) a docente, em contextos e ambientes que muitas vezes são desconhecidos ao professor e que o traz o que alguns autores chamam de “choque de realidade”, que significa o confronto inicial com a complexa realidade do exercício da profissão. Por outro lado, a atuação anterior e concomitante

à formação inicial também constitui uma fonte de saberes pré-profissionais (LANGHI; NARDI, 2012) importantes na constituição do mosaico identitário-profissional deste professor, em especial pelas diversas inserções em posições docentes mesmo antes de sua completa formação inicial.

A discussão a respeito destes detalhes acerca da formação docente torna-se importante tendo em vista que dado este perfil de docente iniciante, muitas de suas ações talvez possam ser apontadas como característica de um professor neste momento de sua trajetória formativa. Isto é, ao analisar os casos apresentados nesta pesquisa tomaremos o cuidado de observar de que forma estes saberes docentes em construção podem ter interferido em determinada ação ou no desenrolar da pesquisa de uma forma mais ampla.

No momento de desenvolvimento desta pesquisa (que iniciou-se em março de 2014 e estendeu-se até abril de 2014), o docente possuía apenas um ano de experiência como regente de ensino médio regular e nunca havia utilizado uma abordagem histórico-filosófica em suas aulas, o que constituiu um desafio ainda maior no desenrolar da ação docente. O cargo de professor substituto também traz consigo um acompanhamento maior do trabalho desenvolvido pelo docente por parte de algum professor efetivo (embora atenuado já que se tratava de um professor em segundo ano de contrato), o que ocorreu ao longo da pesquisa e depois dela, mas que não implicou qualquer mudança significativa no planejamento e aplicação da SD desenvolvida nesta dissertação, conforme será relatado mais à frente.

V.2 Uma visão geral da sequência didática

A sequência didática aplicada foi construída ao longo do processo, conforme orientação que subjaz a própria ideia de pesquisa-ação, ou seja, de retroalimentação da pesquisa a partir do observado em campo. Porém, com vistas a orientar o leitor a respeito dos conteúdos e temas trabalhados a cada aula, iniciamos esta seção com a tabela 2, construída posteriormente ao trabalho de campo, a fim de resumir as informações e fornecer uma visão geral a respeito da SD. A SD ocorreu durante 6 semanas, divididas em doze aulas de 50 ou 100 minutos. Cabe ressaltar que este não é um quadro detalhado sobre cada aula, mas sim um pequeno panorama do que foi realizado.

Quadro V.2: Visão geral da sequência didática

	Aula	Tempo (min)	Tema principal	Eixo Científico	Eixo Cultural	Eixo Técnico
Módulo 1	**1**	50	Discutindo antecedentes	Origens da ideia de átomo na Grécia; modelo atômico de Dalton.		Tubo de Crookes
	2	100	Contextos técnico e cultural da segunda metade do século XIX. Modelo de Thomson.	Modelo atômico de Thomson.	Realismo e impressionismo na pintura. *Halftone*.	Tubo de Crookes, Radioatividade e Espectroscopia. Experimento de Thomson.
Módulo 2	**3**	50	O átomo de Nagaoka e discussões sobre o contexto cultural europeu.	Modelo atômico planetário de Nagaoka.	Técnicas de pintura Sfumato e Cloisonismo.	
	4	100	O átomo de Jean Perrin, quantização da energia e o átomo de Nicholson	Modelos atômicos planetários de Perrin e Nicholson, quantização da energia – M. Planck	Movimento Browniano, *Annus Mirabilis* de Einstein	
	5	50	O átomo de Rutherford	Modelo planetário de Rutherford		Experimento da folha de ouro
	6	100	Atividade 1: Construção de Esquema Gráfico			
Módulo 3	**7**	50	Estrutura atômica	Definições de partículas subatômicas, relações numéricas, isótopos.		
	8	100	Modelo atômico de Bohr e distribuição eletrônica	Modelo de Bohr, postulados, distribuição eletrônica em subníveis	Cinema mudo, Hereditariedade e De Vries	Espectroscopia (revisão)
	9	50	Distribuição Eletrônica	Distribuição eletrônica (continuação)		
	10	100	Modelo Orbital	Princípios da mecânica quântica (quantização, dualidade, princípios da complementaridade e da incerteza), Tipos de orbital e sua interpretação	Contexto político, movimento surrealista (Dalí e Magritte)	A questão da medida em sistemas quânticos
	11	50	Distribuição Eletrônica	Exercícios sobre distribuição eletrônica		
	12	100	Atividade 2:Construção de Panorama Histórico			

Fonte: Construído pelo autor

Neste quadro, optamos por dividir em “três eixos” os conteúdos abordados a cada aula pois foi através desta estratégia que as aulas foram planejadas. Como dito no capítulo II, não significa uma separação clara e bem delimitada de conteúdos entre estes três domínios, mas apenas uma forma de facilitar a discussão dos mesmos, para que haja a garantia de uma abordagem cultural da ciência. Um exemplo é o fato de os temas “*Annus mirabilis* de Einsten”, “Movimento Browniano” e “Hereditariedade e De Vries” que apesar de parecerem temas tipicamente concernentes ao eixo científico aparecem no eixo cultural em nossa abordagem. Em outra ocasião, com uma abordagem que almejasse outros objetivos e talvez até em outras disciplinas como a física e a biologia estes temas poderiam figurar como o conteúdo científico a ser trabalhado. Em nossa pesquisa, porém, eles foram incluídos como uma forma de explicitar melhor o contexto cultural da época, com debates acerca da controvérsia

entre discreto e contínuo em diversos campos do conhecimento e, também, como forma de ampliar a visão para os diversos movimentos em campos distintos da ciência à mesma época. Isso nos parece ser mais adequado ao eixo cultural; no entanto, ainda que se discorde do eixo ao qual se adéqua estes temas, o mais importante é que a estratégia dos três eixos proporciona algum parâmetro para trazer à tona questões relevantes de serem abordadas na SD desenvolvida e dentro do enfoque pretendido.

V.3 Fase Exploratória

Como forma de cumprir a etapa exploratória da pesquisa-ação, fizemos na primeira semana de aulas do ano letivo uma atividade de sondagem com os alunos, que tinha dois objetivos principais:

- Levantar informações sobre a vida acadêmica pregressa dos alunos em relação ao contato com a disciplina química e ciências de uma forma mais ampla, dada a heterogeneidade das turmas pesquisadas.
- Procurar entender o que as representações do átomo feitas pelos estudantes e suas justificativas e argumentos para essas produções trazem de relevante para a pesquisa e para a preparação das aulas com enfoque histórico-filosófico. Isto é, buscou-se uma compreensão mais aprofundada do ambiente de pesquisa para a definição do problema de pesquisa-ação e o plano de ação com vistas a atingir o resultado desejado.

Para atingir estes objetivos, utilizamos dois instrumentos. No primeiro deles, em uma aula de 50 minutos (a primeira aula do ano letivo, de apresentação do curso e do professor), foi aplicado um questionário (Apêndice 1). O aluno deveria responder a duas questões: na primeira, pedia-se que fosse representado o átomo. Para isso, ele poderia usar diversas formas, que eram sugeridas (poema, desenho, texto escrito por extenso; nesta ordem) ou ainda de outra forma que ele acreditava ser possível representá-lo. Na segunda questão, o aluno era convidado a explicar, em pelo menos 5 linhas, por quê ele havia escolhido aquela forma para representar o átomo. Na parte de trás da folha (que o aluno só deveria responder após a parte da frente), eram solicitados dados sobre o colégio anterior do aluno, dados sobre estudos anteriores de química, caso houvesse, e era solicitado ainda que ele resumisse os tópicos estudados a respeito do átomo, ou seja, o(s) livro(s) utilizado(s). Por último,

perguntava-se ao aluno se ele já havia desenvolvido algum projeto ou trabalho em grupo nas aulas de ciências. Destas perguntas sobre o histórico acadêmico foram extraídos dados para compor o perfil das turmas, descrito em seção anterior.

Na aula seguinte a essa atividade, em dois tempos de aula contíguos (100 minutos), foi realizado um debate com os alunos, cujo objetivo era aprofundar as informações coletadas por meio do questionário. As aulas foram gravadas em áudio e o professor fez observações em seu diário de campo. Os resultados dessa atividade, que serão descritos a seguir também podem ser encontrados em publicação dos autores apresentada no 2nd International Congress of Science Education (MOURA; GUERRA, 2014)

V.3.1 Análise das respostas ao questionário

Turma X

Foram recolhidos 35 questionários. Todos os alunos da turma (exceto um) escolheram representar o átomo através de desenho. O que não escolheu representar desta forma, representou as fórmulas estrutural e molecular da água e não um modelo atômico. Dos que representaram através de desenho, praticamente todos (32 alunos de um total de 35) desenharam um "modelo planetário" (exemplo em Fig. V.1) para o átomo, que foi identificado por eles de diversas formas. Dos 2 que não desenharam um modelo planetário, um desenhou diversos modelos (de Leucipo e Demócrito até "a forma atual", que foi representada por símbolos matemáticos e interrogações) com o intuito, segundo o aluno, de representar a curiosidade humana e a evolução dos modelos ao longo do tempo (Fig. V.3); o outro desenhou diversos círculos de tamanhos diferentes, justificando que o átomo teria a forma de uma bola (Fig. V.2). Todos haviam estudado modelos atômicos no 9º ano ou no 1º ano do ensino médio no caso dos três alunos retidos no ano anterior, segundo dados do questionário.

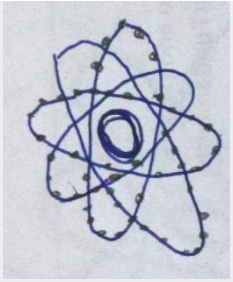


Fig. V.1: Exemplo de representação do átomo planetário

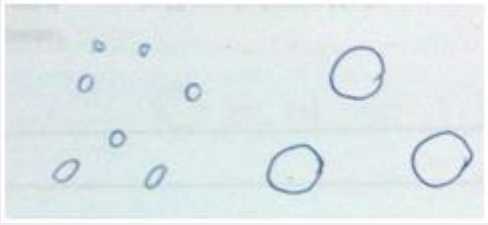


Fig. V.2: Representação através de "bolas".

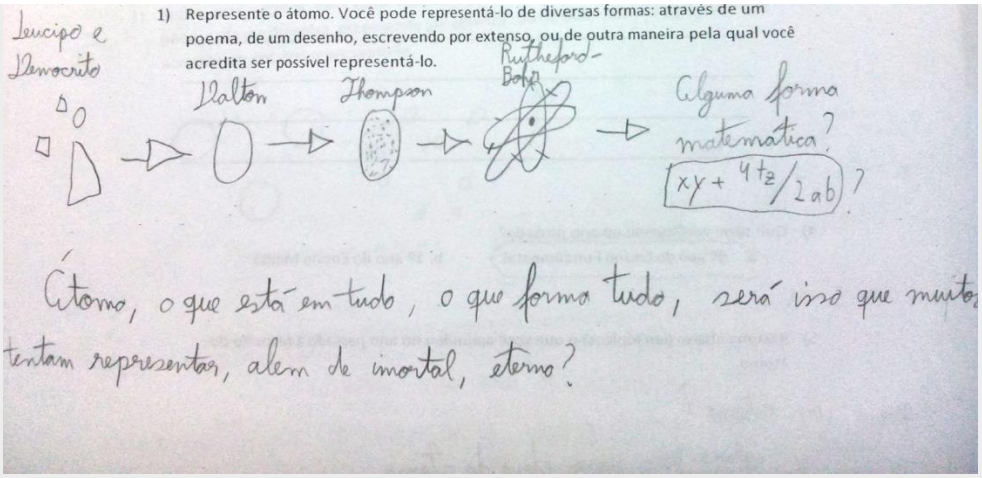


Fig. V.3: A evolução dos modelos atômicos, segundo um aluno.

Turma Y

Foram aplicados 30 questionários. Nesta turma, seis alunos representaram o átomo através de um texto escrito, dos quais um representou através de um poema. Um aluno representou um elemento hipotético X, com seus números atômicos e de massa. Os outros 23 alunos representaram o átomo através de desenho, acompanhado ou não de algum texto. Destes, 14 alunos representaram algum modelo planetário para o átomo (Fig. V.6), 4 alunos representaram o átomo através de analogias (alguns exemplos foram o estádio de futebol ou um quebra-cabeça; exemplos em Figs. V.4 e V.5), 2 alunos representaram como uma bola, e 3 alunos fizeram modelos moleculares do tipo pau-e-bola para representar agrupamentos de átomos. Todos haviam estudado modelos atômicos no 9º ano ou no 1º ano do ensino médio.

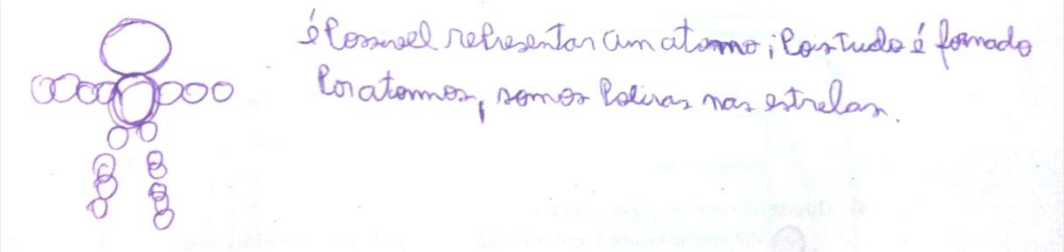


Fig. V.4: Analogia com o corpo humano

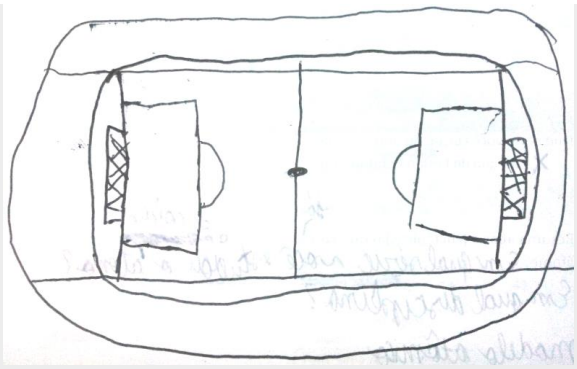


Fig. V.5: Representação da analogia muito utilizada para átomos planetários: estádio de futebol

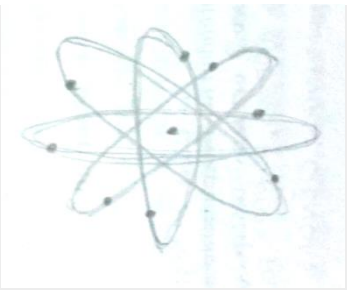


Fig. V.6: Modelo planetário típico

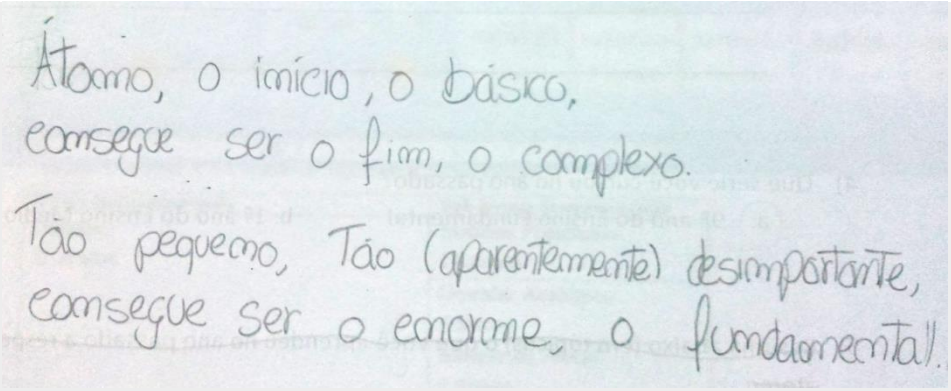


Fig. V.7: Texto lírico

Com base nestas descrições, e utilizando a metodologia de análise textual discursiva de Moraes e Galiazzi (2011) agrupamos, de forma indutiva, as respostas dos alunos à primeira parte do questionário em dois tipos de categorias: a primeira diz respeito às formas de representação escolhidas pelos alunos e a segunda aos tipos de justificativas apresentados. Os resultados são os que seguem.

Quadro V.3: Turma X – Formas de Representação do átomo

Forma de representação	Sub-forma de representação
Desenho 34 alunos	Modelos Planetários 32 alunos
	Diversos modelos (evolução entre eles) 1 aluno
	Modelo de “bolas” 1 aluno
Fórmula Estrutural 1 aluno	-

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro V.4: Turma Y – Formas de representação do átomo

Forma de Representação	Sub-formas de representação
Desenho 23 alunos	Modelos Planetários 14 alunos
	Desenho Analógico 4 alunos
	Modelo de “bolas” 2 alunos
	Modelos Moleculares 3 alunos
Texto Escrito 6 alunos	Texto estilo descritivo 5 alunos
	Texto estilo lírico 1 aluno
Simbolo de Elemento Químico (1 aluno)	-

Fonte: Dados da pesquisa

É notável que há uma preferência pelas representações pictóricas a representações escritas. Além disso, há também predominância, dentro dessas representações pictóricas, do modelo planetário de átomo, em especial na turma X, onde praticamente todos os alunos representaram o átomo desenhando o modelo planetário. Este fato por si só não apresenta um significado evidente, por isso faremos uma análise das justificativas para entender tanto quais podem ser as origens dessa preferência por uma representação visual do átomo, como também para analisar se estas produções podem desvelar concepções desses estudantes a respeito da ciência que possam direcionar melhor as ênfases da sequência didática a ser produzida. Outro dado importante que surge desta categorização é a diferença que pode ser inferida entre as turmas a partir deste quadro: nota-se na turma Y uma pluralidade maior de formas de representação do que na turma X, o que pode, talvez, estar associado a uma maior criatividade da primeira em relação a segunda. Ainda que esta associação não seja verdadeira, podemos assinalar ao menos que há alguma diferença importante de pensamento entre os dois grupos. Isso poderá ser verificado nos resultados do debate.

Quadro V.5: Turma X – Justificativas para as representações de átomo

Forma de Representação	Frequência (nº de alunos)	Justificativa e exemplo
Desenho / Modelo Planetário	2	i. Associação com desenho Jimmy Neutron ou programa de TV. *“Eu escolhi essa forma pois sempre que eu ouço sobre átomos essa imagem é mostrada para representa-los. Mas essa imagem vem na minha cabeça principalmente por causa de um desenho*

		Jymi [sic] Neutron, que o símbolo dele era essa forma que eu escolhi"
	8	ii. É o modelo mais recente ou "último modelo" *"Eu escolhi essa forma pois foi a representação mais recente de um átomo e é a forma que é mais falada e famosa"*
	3	iii. É a forma mais fácil (alguns citaram a visualização da estrutura interna como critério de facilidade). *"Eu escolhi a forma de desenho porque a partir dela, fica mais fácil você saber bem o que é, o que tem nela e outras coisas mais e também porque é o jeito mais fácil de fazer"*
	8	iv. O átomo é desta forma *"Pois como me lembro [nome da professora anterior] explicou para nós que o átomo é um núcleo que envolta dele rodam elétrons, esse núcleo possui pequenas partículas chamadas nêutrons e prótons"*
	4	v. É a melhor forma *"Pois esse modelo de representar o átomo é o mais apropriado pois fica mais simples de se compreender o átomo"*
	7	Não categorizadas, ou com respostas pouco elucidativas
Desenho / Bolas	1	iv. O átomo é desta forma *"Pra mim são partículas muito pequenas que não dão pra ser vistas a olho nú que ocupam lugares no espaço e que juntas formam moléculas, por isso escolhi esse jeito. Os átomos têm diversas formas, mas escolhi essa forma redonda porque são pequenas e parecem c/ a forma de uma bola."*
Desenho / Diversos Modelos	1	*"Eu tive a intenção de mostrar a curiosidade humana de saber como funcionam as coisas e de sempre questionar, a ponto de chegar na descoberta do átomo, das suas muitas representações e mudanças na idéia de como é, como funciona, já que a humanidade tem curiosidade de saber tudo."*
Fórmula Estrutural	1	iii. É a forma mais fácil *"Escolhi esta forma porque é uma maneira que eu aprendi na minha escola anterior e é uma forma fácil de entender"*

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro V.6: Turma Y – Justificativas para as representações do átomo

Forma de Representação	**Frequência (nº de alunos)**	**Justificativa e exemplo**
Desenho / Modelo Planetário	1	i. Associação com desenho Jimmy Neutron ou programa de TV. *"Porque eu lembro do desenho do Jimmy Neutron e eu acho que o que aparece nele desenhado por isso é um átomo"*
	2	ii. É o modelo mais recente ou "último modelo" *"Pois esse foi o ultimo modelo atômico que nós*

		aprendemos no ano passado"
	3	iii. É a forma mais fácil (alguns citaram a visualização da estrutura interna como critério de facilidade). *"Eu escolhi um desenho pois é mais fácil para explicar como o átomo é se fosse possível vê-lo, é mais fácil fazer um desenho e explica-lo, do que fazer um texto o descrevendo"*
	3	iv. O átomo é desta forma *"Porque o átomo possui um núcleo formado por próton (com carga positiva) e nêutrons (com carga neutra), além de possuir diversos elétrons (com carga negativa) em torno do núcleo em 7 camadas"*
	2	v. É a melhor forma *"O átomo desenhado é a melhor forma de representar porque a pessoa pode observar melhor o núcleo e a eletrosfera e dentro do seu núcleo"*
	3	Não categorizadas, ou com respostas pouco elucidativas
Desenho / Bolas	2	iv. O átomo é desta forma *"Acredito que esta seja a forma de um átomo e representei-o assim, pois foi o modo que soube representá-lo"*
Desenho / Analogia	4	Embora todas representem uma categoria, são analogias muito diferentes e se referem a propriedades do átomo distintas, de modo que as justificativas são únicas para cada caso.
Desenho / Modelos Moleculares	3	vi. Moléculas são conjuntos de átomos *"Pois ano passado em ciências nós aprendemos um pouco sobre átomos e representamos eles dessa maneira, uma quantidade de átomos virava uma molécula"*
Texto / Descritivo	5	Todos relataram, em algum nível, uma dificuldade pessoal de representar desenhando e, por isso seria mais fácil para eles a representação escrita.
Texto / Lírico	1	*"Escolhi o poema porque creio que as palavras são tão subjetivas como a definição de um átomo o qual eu não o consigo definir ainda com exatidão científica"*
Símbolo de Elemento Químico	1	iii. É a forma mais fácil

Fonte: Dados da pesquisa

Pode-se afirmar, com base apenas nas justificativas aos questionários que poucos alunos têm a compreensão em algum nível de que os modelos atômicos que eles escolheram para representar seriam uma representação parcial da realidade, construída com propósitos específicos como facilitar a visualização e predizer fenômenos (FERREIRA; JUSTI, 2008). Isto é, poucos têm a compreensão do átomo como modelo científico, com as suas implicações epistemológicas.

Quando os alunos escolhem representar o átomo de determinada maneira por ser a mais correta, – o que de certa forma está representado nas justificativas do tipo ii, iii, iv e v (que somam, juntas, a maior parte das respostas) – isso significa (e está escrito na maioria das respostas de forma explícita ou implícita) que há uma verdade e

que a ciência procura representar esta verdade, desconsiderando a historicidade das teorias atômicas e o ambiente de relações complexas em que a ciência é construída. A visão por trás dessas respostas parece ser a de uma ciência de verdades, mesmo quando o átomo é colocado como “subjetivo”; um exemplo disso encontra-se na justificativa do aluno que escolheu representar o átomo como poema. É como se o átomo, para ele, fosse um “estranho metafísico” dentro da “exatidão científica”. A análise parcial dessas respostas antes do debate ajudou o professor/pesquisador a conduzi-lo de forma a obter manifestações de alunos em torno a questões que pudessem confirmar ou rejeitar essas hipóteses levantadas através da resposta aos questionários.

V.3.2 Análise do debate

Para os debates ocorridos na turma X e turma Y, faremos uma análise procurando identificar os diálogos em que há manifestações em torno aos aspectos levantados no questionário. Por este motivo, não há uma transcrição completa das duas aulas (as gravações têm 1h17min38s e 1h32min43s, nas turmas X e Y, respectivamente) mas sim uma seleção de algumas interações discursivas ocorridas nos dois debates. Também houve a opção por transcrever trechos inteiros em vez de selecionar apenas algumas frases proferidas pelos alunos porque acreditamos que desta forma ficam evidentes o contexto, a postura do professor e outros detalhes que podem também trazer informações relevantes. As transcrições foram destacadas em boxes cinzas, de forma que o leitor possa optar pela sua leitura ou não. A gravação foi feita apenas em áudio.

Turma X

Durante o debate os alunos da turma X se colocaram muito pouco e, em geral, responderam mais sob estímulos. No início do debate, eles são esclarecidos de que se trata de um teste de sondagem, mas ainda assim, apenas um aluno manifesta-se para iniciar o debate, o mesmo que fará diversas intervenções durante a aula. A sala é organizada em três fileiras duplas de carteiras e nota-se que a maior parte das intervenções vem de alunos da parte esquerda da sala. Por isso, em diversos momentos, o professor intervém no sentido de distribuir mais as intervenções. O debate inicia com o aluno que desenhou a evolução entre os diversos modelos atômicos de forma voluntária, conforme pedido inicialmente pelo professor. Na

transcrição[6], os alunos são representados por A seguido de um número para diferenciá-los entre si e o professor é simbolizado por P. O A* foi utilizado quando não é possível distinguir o aluno em questão em uma mesma sequência dialógica. Um aluno representado por A1 em uma sequência dialógica pode ser representado por outro símbolo em outra sequência, pois em virtude da gravação ter sido apenas em áudio, nem sempre foi possível identificar o aluno falante de um diálogo para outro. No entanto, isso não deve atrapalhar nas interpretações da pesquisa, uma vez que procuramos constituir um perfil coletivo das turmas e tendo vista que houve a participação de diversos alunos nos trechos. Nos diálogos, destacamos alguns turnos de fala em negrito e atribuímos códigos formados pela letra T seguida de um número. Este código poderá ser referenciado ao longo do texto analítico para embasar os argumentos.

> O aluno A1 inicia falando sobre a sua representação do átomo e justificando-a. A interação abaixo é posterior este momento.
> [12min38s]
> P: Mas por que é que você fez vários modelos e não um só?
> A1: É que eu quis representar que a humanidade tenta entender e fica questionando tudo. Às vezes temos a ideia de que isso é certo, mas a gente vive questionando, será que isso é mesmo certo? E assim que chegamos às descobertas de hoje em dia.
> P: Entendi. Todo mundo concorda? Sim, não? Alguém discorda?
> (Alguns segundos se passam)
> A2: (falando baixo) Quem garante que... (inaudível)
> P: Quem garante que...?
> A2: Que esse último modelo é o certo?
> P: (professor repete em voz alta o que A2 disse) Quem garante que esse último modelo é o certo?
> A2: (inaudível)
> P: É, não sei. Ele mencionou... Só pra identificar, assim... Ele mencionou que o último modelo seria o modelo de Rutherford-Bohr.
> A1: Não, mas...]
> A3: Tem um modelo eu acho que... Um modelo atual, dos anos 90 que não pode ser desenhado, é uma equação, eu acho...
> A1: É!
> [13min31s]

[6] As transcrições foram feitas diretamente dos vídeos e áudios das aulas e atividades realizadas nesta pesquisa. As gravações podem ser consultadas mediante solicitação ao autor.

Em cerca de um minuto, o professor e os alunos dialogam no sentido de traçar uma síntese sobre o que foi dito a respeito dos modelos atômicos, inclusive o modelo orbital levantado por A3.

[14min47s]

P: Tá, agora a pergunta... será que esse modelo mais atual, que é representado por uma equação matemática, né, é... será que ele é... de alguma forma é mais correto do que os outros? É... Enfim, será que o átomo, ele existe de uma tal forma e conforme a gente vai evoluindo, a gente vai chegando mais próximo dessa forma que ele existe? [2s] Será que sim, será que não?

[15min16s]

O professor encoraja outros a participarem. Ninguém se candidata e ele escolhe um aluno que ainda não participou. Ao ser indagado se concordava com a posição do aluno A1, ele responde:

[16min02s]

P: [...] Você concorda em linhas gerais com o [A1] de que você pode ter vários modelos para o átomo... (o professor é interrompido)

A4: É... Ainda não foi descoberto o modelo certo... (inaudível) Mais exato, mais (inaudível).

P: Entendi... Então pra você ainda não foi descoberto o modelo correto, né? A gente vai se aproximando desse modelo mais correto conforme o tempo vai passando. Seria isso.

O professor examina a resposta dele ao questionário e o inquire sobre a resposta dada.

[16min37s]

P: É, exatamente isso, então você acha que... E a pergunta é pra todo mundo também... Que o modelo mais correto é o atual.

A4: É. (inaudível) [talvez não] o mais correto, mas o mais aproximado.

P: O mais aproximado do quê? Do que seria o átomo na realidade?

A4: É, comparado com o anterior, seria o que mais...

A*: Adequado...

A*: O que mais representa.

P: O que mais representa o átomo, né? O que chega mais próximo de representar o átomo, é isso?

A5: (início inaudível) Por conta da tecnologia que a gente tem hoje ele é considerado o mais certo... {T1}

P: Você falou que por ser mais novo... é considerado o mais certo por conta de... da tecnologia que a gente tem hoje... O que é que tem a tecnologia?

A5: É muito mais avançada.

P: Mais avançada, mas, e daí?] =

A1: (Inicia uma fala e para)

P: = Isso tem alguma implicação?]
A6: (fala alguma coisa)
P: [Ahn?
A6: Pode... Proporciona estudos mais aprofundados do átomo.
P: Proporciona você fazer estudos mais aprofundados, é isso? E aí portanto você estaria chegando num modelo que é mais correto, é isso?
A1: É... Porque você vai testando as teorias...
P: Ahn?
A1: Tem que testar a teoria na prática pra saber se ela tá correta. E é assim que vai mudando. {T2}
P: Entendi. Todo mundo concorda com essa visão? De que conforme você vai tendo... Esse lado aqui [gesto apontando o lado esquerdo da sala] tá muito quieto... Conforme]
A7: Eu acho que...
P: Ahn, fala.
A7: Não existe nem certo nem errado. É... Aproveitam os estudos anteriores para aprimorar. {T3}
P: Entendi. Você vai aproveitando os estudos anteriores e vai aprimorando.
A7: Isso.
P: Isso não quer dizer que você está chegando num modelo mais certo, é isso? {T4}
A7: É.
P: Mas é um modelo mais aprimorado, é isso? Certo? {T5)
A7: Aham.
Neste momento o professor direciona o debate para o entendimento dos modelos, para que eles servem, e o que são.

Deste trecho do debate podemos extrair algumas posições que se harmonizam com as conclusões obtidas das respostas aos questionários. Parece haver um consenso entre eles de que a ciência é sempre progressiva, o que é garantido pelo avanço da instrumentação (turno T1). Os modelos mais novos são mais corretos que os anteriores. Mesmo quando A7 tenta relativizar dizendo que não seria um modelo mais correto, o uso da palavra “aprimorar” revela, talvez, esta visão (turno T3). Neste momento, parece haver um problema de mediação do debate pelo professor, que poderia ter explorado mais as diferenças entre “apropriado” e “correto”, para chegar a uma posição mais precisa deste aluno.

Por outro lado também há uma inferência excessiva do professor na fala do aluno durante o último diálogo da sequência transcrita (T4 e T5), o que pode ter

induzido sua opinião ou ter feito com que o aluno apenas concordasse ou discordasse, sem elaborar seu próprio pensamento. Isto é diferente das outras falas, onde há repetição dos argumentos do aluno tanto para que toda a turma pudesse ouvir quanto para obter a confirmação do pensamento do mesmo.

Após este momento, discutiu-se sobre o papel de modelos na ciência e a seguir foi colocada a questão sobre a motivação dos cientistas, a validação de conhecimentos científicos e o papel de fatores extracientíficos na construção da ciência. Deste diálogo, pôde-se perceber que alguns alunos concebem de uma forma razoável o que é um modelo científico, conforme entendido por Ferreira e Justi (2008), e sem entrar no mérito da discussão realismo *versus* antirrealismo, se contrapondo ao que se observou nas justificativas escritas nos questionários. Ainda houve a participação de outros alunos a respeito da mudança de um modelo para o outro e a questão da progressividade constante da ciência, com manifestações tanto a favor desta visão de linearidade e evolução positiva da ciência, como algumas opiniões contrárias, manifestadas especialmente quando o tema “fatores extracientíficos” entrou em pauta, conforme segue no próximo diálogo. É importante salientar também que muitos argumentos foram introduzidos pelo professor nos diálogos com o objetivo de fomentar a discussão, a reflexão dos alunos e a escolha de posições face aos argumentos postos. Apesar disso, há que se atentar para a consequência dessa intervenção pois pode significar uma aderência do aluno à posição do professor sem uma reflexão, dada a relação assimétrica professor-aluno e à voz de autoridade e posição de superioridade em conhecimentos do professor que essa assimetria pressupõe. Um dado que corrobora essa observação (da assimetria) veio da turma Y e será comentado na próxima seção.

> [37min58s]
> Após uma discussão longa sobre diversos aspectos de modelagem em ciências, a retomada da questão da linearidade e a criação de consensos no meio científico, o professor levanta uma questão utilizando um gancho da resposta anterior dada pela aluna.
> P: Será que existe, é, quando um cientista tá fazendo uma teoria, será que existe a possibilidade de ele ser influenciado, por exemplo, por outro cientista, ou ser influenciado por ideias da época que ele tá vivendo...
> **A1: Geralmente um cientista pega uma ideia de outro cientista e pensa o contrário dele.**
> P: Pensa o contrário, pensa um pouquinho diferente...

A2: É, eu acho que eles sempre se baseiam em alguma coisa, então... Teve o primeiro, o segundo vai se basear no primeiro, mas aí, tipo, (inaudível) mais aprofundado que o primeiro... [Ele diz] “Isso aqui tá errado, mas o resto tá certo”...
P: Entendi, como é o teu nome?
A2: (diz o nome)
P: [A2]. Mas será que é isso, só isso? Será que ele, por exemplo, não se baseia, se deixa influenciar de certa forma pelos fatores da cultura daquele momento? Por exemplo, como é que será que era a sociedade na época de Dalton?
A3: Eles não acreditavam no átomo.
P: Ahn? Não acreditavam no átomo. Mas se resume a isso? Eu quero saber assim, é... Naquela época, que tipo de músicas eles ouviam, é... Que tipo de livros]
A*: Elton John! (risos)
P: (sorri) Tá, é… Que tipo de músicas eles ouviam, que tipo de livro eles liam, será que isso é relevante para o fazer científico, será que isso de alguma forma influenciou Dalton, [A2]? O que é que você acha?
A2: Ah, eu acho que... Ah, não sei, a partir do momento... Não é só, não é uma pessoa chegar e falar: “ah, o átomo é isso e a sociedade tem que acreditar”. Eu acho que tem... A pessoa tem que estudar e demonstrar... passar pras pessoas o ponto de vista dela.
P: Aham.
A2: E a sociedade inteira, tipo, depende da época, da cultura, tudo, pra ela acreditar ou não.
P: Entendi.
A2: Aí alguém disse que o sol é quadrado. Aí foi alguém e disse que o sol é redondo. Na época todo mundo acreditava na Igreja, todo mundo achava que o sol é realmente quadrado, então ninguém acreditou de primeira que o sol era redondo.
P: Isso tem aquela questão também que vocês já devem ter estudado em ciências, em geografia talvez. Vocês já ouviram falar que o sol... O sol não, mas a Terra já foi pensada como centro do universo. Já ouviram falar nisso? ... Né? E aí depois ela não foi mais pensada como o centro do universo, né, mudou para o modelo heliocêntrico que a gente tem hoje, certo? Então, será que não houve fatores que influenciaram tanto nesse caso quanto influenciaram Dalton também, fatores extracientíficos... Eu to tentando entender se vocês acham que fatores extracientíficos, ou seja, fora da comunidade científica, né, se eles podem influenciar ideias de cientistas. **Por exemplo, será que o cientista pode pegar uma ideia que tá circulando por aí, sei lá, ouvi muito Anitta, aí eu vou produzir um modelo atômico que seja de alguma forma influenciado pela Anitta, isso é possível? {T1}**

Alunos: Sim!
A2: A Igreja!
P: A Igreja influencia?
A3: Eu acho que a sociedade influencia (inaudível)... Porque na época...]
P: Peraí, gente, eu não to ouvindo, rapidinho... (chama a atenção da turma pelo barulho)
A3: Porque naquela época, eles acreditavam em algumas coisas que hoje em dia não acreditam, então, quando eles criaram os modelos baseados no que eles acreditavam e eles aprimoraram, entendeu? Então acho que o que eles acreditavam na época, mesmo não sendo do ponto de vista do modelo atômico, em tudo, eu acho que influenciou. Porque era a realidade deles naquela época.
O professor então direciona o debate para questões atuais como o aquecimento global e chega à questão do financiamento de pesquisas e crenças dos cientistas. A turma então começa a sentir um pouco de esgotamento da discussão. O professor começa novamente a ter dificuldades de conseguir intervenções.
[45min10s]
P: A ciência se baseia em convicções? Vocês acham que sim ou não?
[4s]
A1: (inaudível)
P: Você acha que não deveria mas pode acontecer?
A2: A ciência não, mas os cientistas, sim.
Outras questões sobre financiamento de pesquisas são colocadas. Surge um exemplo do protetor solar, um exemplo do nazismo e sua vertente científica. Depois disso, o professor coloca o problema do relativismo extremo, pois uma vez que foram apresentados muitos argumentos que relativizam a produção do conhecimento científico, corria-se o risco de reduzir a ciência a uma questão de opinião. Então é enfatizado o papel dos experimentos e do pensamento sistemático para a ciência.

Podemos notar através do trecho acima como um todo que houve discussões sobre a ciência como produção humana, algumas vezes salientada pelos próprios alunos. No entanto, a respeito da relação da ciência com o contexto cultural mais amplo, os alunos parecem ter uma visão restrita. Eles não argumentaram de forma sólida neste sentido e suas falas parecem, de certa forma, apenas uma reverberação do que foi externado pelo professor sobre o tema, à qual temos que ter cuidado em virtude da já dita relação assimétrica entre aluno e professor. Ou seja, o que o aluno responde, às vezes, é influenciado pela vontade de atender à expectativa do professor, em especial nesta turma, que participou pouco de forma voluntária – o professor teve que intervir muitas vezes para escolher alguém que pudesse responder

às questões e dar continuidade ao diálogo. No turno T1, o professor faz uma afirmação no intuito de causar um incômodo nos alunos e, talvez, obter mais interlocutores ou mais opiniões divergentes, mas não há sucesso na estratégia, já que apenas os mesmos alunos continuam participando.

No final, o professor propõe a criação de uma síntese para a aula, uma lista de consensos a partir da discussão que se desenrolou. A cada consenso, foi verificado o grau de concordância com as sentenças que estavam sendo escritas no quadro, através de votações simples. Caso a discordância fosse muito grande, debatíamos a questão até a formação de um novo consenso que pudesse ser escrito.

Turma X – Síntese do debate

- A ciência é construída por evidências experimentais ou teóricas, de fatos, interpretações de experimentos

- A ciência é feita de dúvidas

- A ciência pode ser influenciada por fatores extracientíficos

- Os modelos são produzidos pelos cientistas para que outros cientistas e mesmo o grande público possam entender sua teoria.

- Os modelos são construções teóricas que substituem outros modelos em virtude do avanço da tecnologia (mas não apenas) e não significam necessariamente uma aproximação à verdade.

É importante olhar para este quadro de forma crítica. Todos os alunos concordaram com todos os tópicos, exceto o último, no qual 4 alunos manifestaram-se contra. Embora haja aparente consenso sobre os tópicos escritos no quadro, devemos analisar estes dados em conjunto com o que foi destacado do próprio andamento do debate e com as respostas aos questionários. Tomando como base o *corpus* inteiro analisado nesta atividade, pode-se afirmar que a visão que ainda predomina é a do caráter linear e sempre progressivo da ciência. Embora tenham ensaiado alguns exemplos, como da influência da Igreja na aceitação ou rejeição de teorias, os alunos em geral não possuem uma visão de ciência como uma produção humana e cultural de forma ampla. Apesar de terem surgido no debate algumas falas que parecem apontar na direção contrária, os exemplos levantados não são muito representativos deste entendimento. Há que se contar o contexto das intervenções e número de alunos que manifestam as opiniões em sala de aula, o que termina por apontar com alguma clareza que o entendimento pleno sobre a influência do meio cultural e a não-

linearidade do desenvolvimento científico não podem ser inferidas como um pensamento global e homogêneo desta turma.

Turma Y

Esta turma, em termos de participação em sala, possui um perfil bastante diferente da turma X. Ao iniciar o debate, explicando os objetivos e solicitando um voluntário, prontamente aparecem alguns alunos dispostos a expor seu pensamento e opinião. Três alunos diferentes iniciaram o debate falando sobre suas representações de átomo feitas na aula anterior, mas falavam para uma turma ainda bastante desconcentrada e falante. A turma Y esteve, nesta atividade, bem mais agitada que a turma X. O objetivo inicial é descrever todos os modelos que eles conhecem, para que todos obtenham um conhecimento em comum. A cada modelo que eles citam, o professor faz um desenho no quadro referente ao modelo em questão. Eles falam do modelo de Thomson e do modelo de Rutherford. O professor inclui também o átomo de Dalton. Ao serem indagados sobre qual seria o modelo mais atual ou mais próximo do atual, eles ressaltam ainda que existe um modelo atômico que é representado por uma equação matemática. O professor representa no quadro com uma interrogação este modelo. O professor inicia a condução do debate para os aspectos dos modelos científicos, com o diálogo abaixo:

> [7min56s]
> P: [...] Aí, a pergunta é... será que hoje, eu sabendo que existe esse modelo mais atual, eu posso utilizar esses outros modelos mais antigos?
> A1: Pode.
> A2: Não.
> P: Ouvi sim e ouvi não. Quero que alguém defenda o “sim” e alguém defenda o “não”.
> (há algum alvoroço na sala)
> A2: Não porque tem fatos que comprovam que esse não é o mesmo modelo (trecho inaudível) do átomo.
> P: (repetindo) Não porque...]
> A3: Aquele ali já tá errado (apontando para algum modelo, provavelmente o mais antigo).
> P: Não porque tem modelos que dizem, provam, entre aspas, né, que os antigos estavam errados. Agora, quem falou sim?
> A1: Eu.
> P: Fala.

A1: Depende da situação, né. (trecho inaudível) Tem vários fenômenos que o brigadeiro [referindo-se ao modelo de Thomson] explica. Só que não explica só um, que é a radiação.
P: Ah, entendi. Então, ele tá falando... Como é o teu nome? (o aluno responde) O [A1] tá falando que a gente pode sim utilizar esse modelo mesmo sabendo que ele tá ultrapassado. Por quê? Porque ele serve pra explicar, é... Algumas questões, né, que o mais atual também explica, mas eu posso recorrer a esse aqui que é mais simples, por exemplo, né? Pra eu entender.
(A aula é interrompida por um recado do inspetor)
P: Certo? Então temos um dilema. Pode ou não pode afinal?
Alguns alunos falam que pode e outros que não pode.
P: Acha que pode? Então...]
A3: Usar pra quê?
P: Usar para explicar algum fenômeno. Por exemplo... Se eu quiser explicar a... Porque é que a janela de alumínio reflete melhor a luz que o telhado. (provavelmente apontando para a janela, já que a vista da sala é uma telha de amianto da outra sala.) Aí eu posso escolher um modelo qualquer mesmo sabendo que existe um que é mais atual. Posso escolher um modelo antigo e usar ele?
A3: O mais atual, por ser mais atual não quer dizer que tá certo ele, não tem prova...
P: Não tá certo... o que você quer dizer com certo?
A3: Pode estar certo mas ninguém sabe.
P: Sim. Certo em relação a quê?
A3: Em relação ao que é.
P: Em relação ao que é de verdade. Então, pra você, como é teu nome?
A3: [A3].
P: [A3], legal. Pra você, a gente tá fazendo modelos, né, e aos poucos eles vão chegando mais próximos do que é realmente.
Há um burburinho rápido.
P: Sim, sim, pode falar.
A3: Se a gente não sabe o que é, tipo, de verdade, então o primeiro pode ser o que tá mais próximo.
P: Entendi. Alguém discorda?
A4: Eu!
P: Por exemplo, ela tá falando o seguinte... [A3]. A [A3] disse que é... embora os modelos mais novos, né, eles tenham uma quantidade...]
A3: Eu não falei que tá certo, heim.

P: É, ela disse que não tem como você saber qual é o que tá mais certo do que o outro, já que você não tem acesso direto a realmente como o átomo é. É isso? (perguntando à aluna – ela confirma) Quem disse que não?
A4: Eu!
P: Fala. Você é o?
A4: [A4].
P: [A4].
A4: Não tem como tá certo, porque não adianta você escolher o primeiro porque não tem como ele estar mais próximo já que ele não explica as reações químicas, por exemplo.
P: Você tá falando então que esse modelo aqui (aponta para o modelo de Dalton desenhado no quadro) ele é mais antigo e já não explica uma série de coisas, então isso significa que ele não tá mais próximo do que esse, por exemplo (aponta outro modelo mais moderno, desenhado). Que é mais complexo e explica mais coisas. Então esse aqui está mais próximo da verdade do que aquele lá.
A4: É.
Alguns segundos de silêncio.
Depois disso, são colocados mais elementos na discussão, o professor pergunta o que faz os modelos evoluírem e surge a questão da tecnologia. Neste momento, a aula é interrompida para um recado da direção adjunta de licenciatura, pesquisa e extensão (DALPE).

Este debate inicial mostra que começa a haver uma divergência entre o que alguns pensam sobre os modelos em ciência e o que outros pensam. Essa divergência se intensificou e culminou em uma falta de consenso no final do debate. Na verdade, este tema foi colocado pelo professor como uma introdução ao que viria depois, que foi sobre como se dá a evolução da ciência. Observe-se também que a discussão acabou ficando muito presa na questão da realidade dos modelos ou não e não foram muito exploradas as outras características dos modelos.

O trecho a seguir ilustra outro tema que foi discutido: a questão da linearidade ou não da ciência. Por volta do minuto 31, o professor continua a discussão do papel da tecnologia no “avanço” dos modelos. Neste momento, ele desenha no quadro uma linha com alguns pontos marcados, que seriam os diversos modelos desenvolvidos. Fora da linha, ele também marca um ponto, que seria a verdade; é para este ponto que a linha se encaminharia, ou seja, a linha representa a evolução da ciência. O professor então questiona a respeito da linha desenhada, se ela é sempre reta, “linear”, ou se, apesar de continuar crescendo em comprimento, ela pode se afastar do ponto “verdade”. Ou seja, ele recoloca a questão em forma pictórica.

[31min42s]
Depois de uma discussão, o professor ressalta o ponto de vista da aluna [A3].
P: Vocês entenderam o que eu digo? Você pode ir por um caminho que na verdade tá se afastando dessa verdade que de fato existe, já que você não sabe onde ela tá. Você imagina que ela esteja mais ou menos aqui (aponta para o quadro) mas ela pode estar aqui e você tá andando pra cá. Certo? Sim ou não?
A4: Não.
P: Não? Fala.
A4: Não porque... (é interrompido momentaneamente por outro aluno)
A4: Não dá, se toda vez que você explicar ou você ou for mais pra frente, você explicar alguma coisa que não tava antes, você tá...
P: Necessariamente você tá chegando mais próximo...
A4: É, não tem como você... (trecho inaudível)
P: Você acha então que a ciência não tem como regredir. {T1}
A4: É. {T2}
P: Alguém acha, mais alguém tem essa ideia? De que a ciência não pode regredir. Que ela vai sempre progredindo, progredindo, progredindo... Sempre num sentido positivo?
O professor refaz a pergunta como forma de estimular respostas, até que A5 se manifesta:
A5: Eu acho que é a questão da tecnologia. Acho que tem mais a ver com a tecnologia.
P: A tecnologia então garantiria que você está...]
A5: Não, mas tipo assim, algum dia alguém pode inventar um microscópio, tá ligado, na química, "ferrado"] {T3}
P: Sim, tô ligado!
A5: [ferrado assim e a gente conseguir ver o átomo. {T4}
O professor questiona a respeito do que é possível ver com o microscópio e problematiza a ideia de que seria possível ver o átomo.

Neste trecho, podemos notar a persistência da visão de contínuo progresso científico, isto é, de que a ciência caminha sempre no sentido de elucidar a verdade que existe (T1 e T2) e aproxima-se continuamente dela, muitas vezes por intermédio da instrumentação e da tecnologia, que seria o principal empecilho para o alcance da "verdade". O aluno A5 coloca, inclusive, que havendo um microscópio "ferrado" (gíria que significa "muito potente" ou algo do gênero), seria possível ver o átomo, portanto, dispensando a necessidade de modelos aproximados para entender a realidade que a partir desse momento não seria mais inalcançável (T3 e T4).

São colocadas, durante o debate sobre a progressividade dos modelos científicos, a questão da aceitação dos mesmos e do consenso. Um aluno fala sobre a importância do dissenso para que haja progresso e então, a partir do questionamento a respeito do consenso, chega-se a discussão sobre fatores extracientíficos e sua influência no desenvolvimento da ciência. O professor questiona se os modelos que os cientistas criam, apesar de estarem muitas vezes relacionados com resultados de experimentos, etc, se eles podem ser influenciados por fatores extracientíficos. Um aluno diz que sim e outro cita o exemplo de Hitler e do nazismo, cuja história é complementada por outros alunos e pelo professor. O professor, então, pergunta se, face a isso, podemos dizer que a ciência é neutra. Nenhum aluno responde e ele resolve inquirir uma aluna específica, escolhida previamente a partir da análise dos questionários.

> [39min12s]
> P: [A6]. A [A6] falou um pouquinho, mas queria que você falasse mais. Você acha que a ciência pode ser neutra? Tem a possibilidade d'ela ser neutra?
> A7: Não, mas eu acho que nesse caso... acho que sim nesse caso... porque não vai, não vai...]
> P: No caso o quê? Do átomo?
> A7: É. Na questão de Hitler e tal, esse, essa pesquisa sobre a raça ariana vai favorecer uma pessoa, mas descobrir qual é o modelo atômico não vai favorecer ninguém.
> P: Aham. Mas assim, pensando de uma forma mais ampla, por exemplo, não precisa ser... Fala.
> (Há uma intervenção que não contribui para o debate que estava ocorrendo e o professor continua a sua linha de raciocínio)
> P: Mas assim, pensando... só pra eu não perder minha linha de raciocínio... (respondendo a outra intervenção do aluno) Sim, sim, da raça ariana, etc. Mas só pra eu não perder minha linha... É, de uma forma mais ampla, vocês acham que por exemplo, o contexto cultural de uma época, né, ou seja, é... As artes, a música, a literatura de uma época, pode estar de uma certa forma, é, influenciando ou sendo influenciado pela ciência?
> A8: Sim... Influenciando.
> P: Influenciando? Mas não sendo influenciado pela ciência?
> A8: Sim. Também.
> A9: Os dois, cara. Você sofre influência da sua época, cara. Todo mundo sofre.
> P: Por exemplo, você acha que o modelo de Rutherford, ele poderia ser diferente se naquela época tivesse um contexto diferente? Outras ideias circulando? [2s] É possível que sim, né? É possível que sim.
> A*: (inaudível)

P: Oi? Não, podia ser outra coisa completamente diferente, né? Embora, é... é... fala]
A4: Só ia pular uma etapa que vai acontecer.
P: Como?... Ah, pular uma...]
A4: Só ia pular essa etapa, mas ia fazer outro modelo, que seria...]
P: Então você acha que necessariamente a gente ia passar por um modelo como esse para chegar ao modelo atual?
A4: Não, podia pular... O primeiro por exemplo podia não existir, mas aí... (trecho inaudível).
O professor segue questionando essa visão, que é reafirmada pelo aluno.

Observa-se na primeira parte do diálogo que há alguma hesitação na caracterização da interinfluência do meio cultural e do meio científico. Os exemplos que surgem são, notadamente, como os da turma X, onde são apontadas influências diretas em contextos específicos. Uma forte evidência disso é quando a aluna nega que no caso do átomo tal influência seria possível, restringindo-a a contextos em que o conhecimento científico pode dialogar diretamente e de forma mais evidente com o contexto (especialmente o político). Enxergar esta influência, mesmo que em contextos muito específicos já é um passo importante na determinação da ciência como um construto social, no entanto, fica evidente que essa posição manifestada no diálogo transcrito demonstra uma visão de ciência como construída de forma neutra em alguns casos.

No final deste trecho, há ainda um reforço da visão linear de ciência, quando o aluno A4 afirma que se o modelo de Rutherford fosse elaborado de modo diferente em função de um hipotético contexto histórico-cultural diferente, essa mudança fatalmente faria com que “uma etapa” do caminho em direção ao modelo mais atual fosse “pulada”, reafirmando a visão linear que ele mesmo e outros alunos já haviam manifestado em outros momentos.

Após este momento, as discussões continuam girando em torno, principalmente, da linearidade ou não do desenvolvimento científico e da influência de fatores extracientíficos neste desenvolvimento. A discussão pouco avança em argumentos, mas são trazidos novos exemplos como o aquecimento global, o debate sobre heliocentrismo *versus* geocentrismo, a visão aristotélica da matéria e do movimento *versus* a visão discreta da matéria e a mecânica clássica para explicar os movimentos.

Inicia-se a construção da síntese, em que o professor enumera e depois anota os principais consensos que podem ser tirados do debate. Esta construção foi bem menos consensual do que na turma X. Os alunos intervieram, questionaram e propuseram bem mais do que na outra turma e não houve formação de consenso para a questão da linearidade no desenvolvimento científico. Alguns alunos afirmavam que a ciência desenvolvia-se linearmente, com modelos progressivamente mais próximos da realidade enquanto outros afirmavam o contrário. Uma outra parte afirmava que não seria possível afirmar nem um nem outro, visto que não teríamos acesso direto à realidade. Além disso, no momento da síntese, discutiu-se um pouco o papel dos modelos científicos e o que eles representam para a ciência.

Turma Y – Síntese do Debate

- A ciência é construída a partir de questionamentos

- A ciência baseia-se na construção de suas teorias em experimentos, hipóteses, em outras teorias, fatos.

- A ciência pode ser influenciada ou influenciar o meio cultural, político e econômico de sua época.

- A ciência é construída por meio de modelos, que são representações que utilizamos para explicar a realidade.

Nota-se a ausência de um consenso sobre a progressividade ou não da ciência, como existiu na turma X (embora alguns alunos tenham discordado deste consenso nesta turma). No caso da turma Y, houve a divisão em três grupos numerosos de opiniões diferentes, o que impediu a formação de consenso e, portanto, não há qualquer afirmação sobre essa questão na síntese.

É possível observar também a presença do item “influência de fatores extracientíficos”. No entanto, a mesma cautela que temos ao analisar a síntese do debate da turma X, também devemos ter ao analisar a síntese deste. A influência do meio cultural, um aparente consenso desse debate, mostrou-se, através das diversas falas dos alunos como algo muito restrito. Parece mais uma ideia “plantada” e, de certa forma, um pouco nova para eles.

Após o término da atividade, o aluno A5, junto com outros alunos inicia o diálogo abaixo com o professor:

[1h30min23s]

> A5: Professor, o senhor acha que a ciência é uma “parada” linear? Na sua opinião...
> P: Não sei... Não posso falar isso agora.
> A5: Claro que pode!
> A9: Ele faz mestrado, cara, é claro que ele sabe!
> [...]

A relação professor-aluno é uma relação desigual sob diversos pontos de vista e isso fica claro nesse trecho, a respeito das expectativas dos alunos a sobre o conhecimento do professor e a sua chancela como autoridade no assunto, em especial em virtude de o professor estar fazendo mestrado (o que foi avisado no primeiro dia de aula, para explicar o propósito da gravação/filmagem das aulas e deixá-los cientes da pesquisa). Portanto, segundo observações do professor (no diário de notas) a respeito das reações dos alunos ao serem colocados novos argumentos durante os debates, foi notado que eles pareciam internalizar algumas opiniões, questionamentos e ideias vindas do professor, talvez pelo fato de terem vindo da figura de autoridade do conhecimento que é o professor.

Conforme Quadros *et al*. (2010) argumenta citando outros autores, a assimetria é uma característica intrínseca da relação professor-aluno, seja pela diferença de idade, pelos papéis sociais que cada um desempenha ou funções com diferentes níveis de poder (delegado pela instituição) que cada um ocupa. O professor pode atuar no sentido de dirimir ou aumentar essa assimetria, o que pode ser apreendido, por exemplo, a partir de uma análise linguística mais profunda em sala de aula, como faz Brantz (2005). Porém, o que está em questão para a nossa pesquisa é a assimetria intrínseca da relação. Em momentos como o do diálogo final, pode-se perceber de forma mais clara esta característica, especialmente na percepção dos alunos, através do que estes externam.

A partir dos dados obtidos dos debates promovidos e questionários aplicados, puderam-se enfatizar algumas concepções dos alunos sobre a ciência que foram destacadas para serem discutidas em sala de aula, são elas:

- Percepção linear e progressiva da ciência, com os modelos evoluindo, em geral, sempre em direção a um modelo mais correto.

- Visão restrita sobre a relação entre o conhecimento científico e o contexto sócio-histórico-cultural onde é produzido.

Cabe ressaltar que o objetivo da aplicação da sequência didática não é mudar estas concepções dos alunos a respeito da ciência para outra concepção dada como mais correta segundo determinado consenso. Nosso foco, está em avaliar o potencial da abordagem histórico-filosófica construída para a criação de discussões a respeito dos aspectos de Natureza da Ciência os quais estamos nos propondo a abordar. Isso justifica a escolha da nossa metodologia de pesquisa e o nosso olhar mais processual e difuso e menos pontual, embora não deixemos de ancorar nossas percepções nas atividades realizadas pelos alunos. Essas atividades constituem seu esforço de reconstrução da narrativa histórica abordada em sala de aula e podem nos fornecer pistas sobre os sucessos e insucessos da estratégia didática.

Portanto, a atividade de sondagem é um elemento que trata de construir um perfil das turmas e suas particularidades uma vez que não faz sentido a criação de qualquer conjunto de atividades didáticas que desconsiderem o perfil das turmas em que ele será aplicado. Tudo isso entra em ressonância com a etapa de colocação do problema de pesquisa-ação para o delineamento do plano de ação com vistas à resolução do problema. Segundo Thiollent (1986, p. 53), na fase inicial da pesquisa é necessária a definição dos principais problemas em torno dos quais a ação será desenrolada, em outras palavras, trata-se de definir o problema de acordo com o marco teórico adotado. Thiollent (op.cit) afirma ainda que “na pesquisa científica, o problema ideal pode remeter à constatação de um fato real que não seja adequadamente explicado pelo conhecimento disponível”. Em nosso caso, conforme autores citados no início desta dissertação (BRAGA; GUERRA; REIS, 2008; SCHNETZLER, 2010; CHAMIZO; GARRITZ, 2014) o problema que procuramos resolver está no ensino de ciências de uma forma geral e no ensino de química em específico: as aulas de ciências não têm sido espaços de discussão sobre o fazer científico e não ressaltam as condições sócio-histórico-culturais em que foram produzidos os conhecimentos científicos, pelo contrário, ainda são reduto da propagação de uma concepção dogmático-instrumental do ensino (BRAGA; GUERRA, REIS, 2008). Logo, o nosso problema reside em como criar estratégias para possibilitar estas discussões em sala de aula, dentro do enfoque histórico-filosófico, que foi o norte escolhido.

Identificado o problema e as condições iniciais da pesquisa, Thiollent (1986: p. 53-54) ressalta a importância de haver um plano de ação para a pesquisa ação, que permitirá a alteração da situação inicial para o objetivo almejado. O fluxograma abaixo sintetiza o plano de ação:

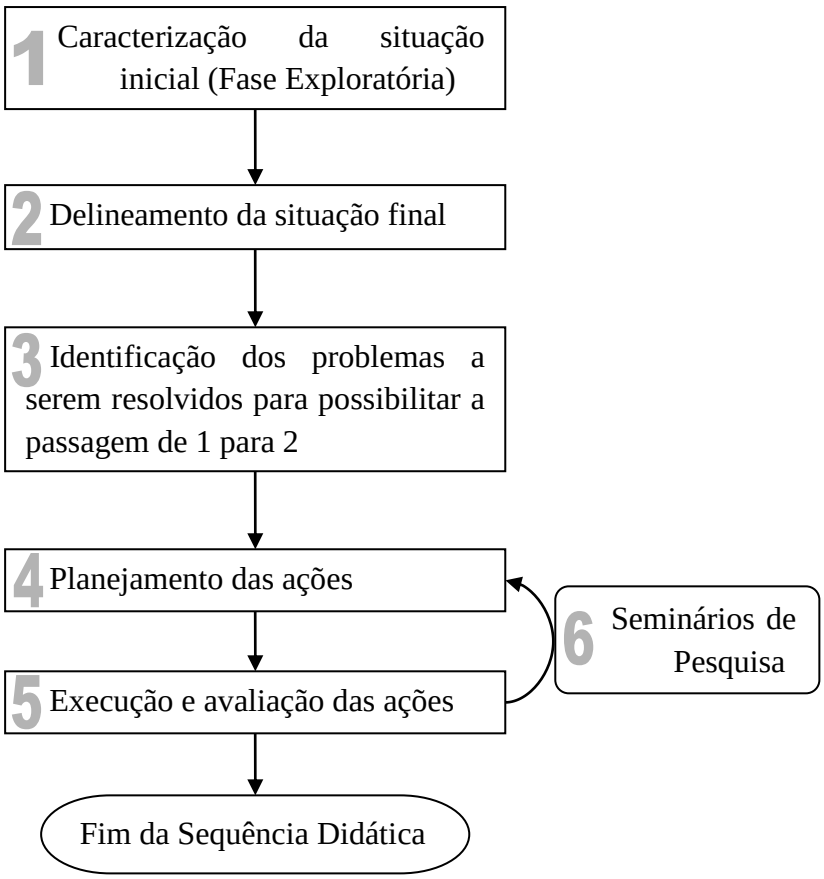


Fig. V.8: Plano de ação da pesquisa-ação
Fonte: Criado pelo autor a partir de Thiollent (1986)

Etapa 1: é a que está descrita nesta seção, que diz respeito à fase exploratória. Os perfis obtidos das turmas, suas concepções de ciência e sua dinâmica de sala de aula nos ajudaram a construir uma abordagem adequada a estas turmas.

Etapa 2: A nossa pesquisa está focada em obter informações e produzir conhecimento sobre o processo de planejamento, criação e aplicação da SD com enfoque histórico-filosófico proposta. Portanto, a situação final consiste no sucesso da estratégia desenvolvida, que será caracterizado pela avaliação das atividades feitas pelos alunos e por meio de suas intervenções em sala de aula. Estas produções dos alunos (orais e escritas) consistem em sua reelaboração do conteúdo abordado pelo

professor e podem nos permitir avaliar se a atividade promoveu a discussão sobre natureza da ciência almejada com a criação da SD.

Etapa 3: Há na literatura citada exemplos de obstáculos para a criação de abordagens histórico-filosóficas para a sala de aula (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2011). O nosso trabalho, além de procurar consolidar este conhecimento, tem a intenção de analisar a possível emergência de outros obstáculos no contexto específico desta análise, de modo que os problemas a serem resolvidos estão parcialmente listados *a priori* no marco teórico mas também constituem objeto de nossa análise.

Etapas 4, 5 e 6: Após a fase exploratória e feita a prévia pesquisa bibliográfica sobre o tema histórico, a etapa de planejamento consistiu na elaboração das aulas e no desenvolvimento de um cronograma geral para aplicação da SD, bem como da definição dos recursos didáticos a serem utilizados (vídeos, objetos concretos, etc), da escolha do momento das atividades avaliativas, entre outros pormenores. Cabe ressaltar que a etapa 4 foi revista posteriormente em associação com a etapa 5 (a execução e avaliação das ações) e intermediado pela etapa 6, que consistiu na participação nos seminários do grupo de pesquisa.

Daqui em diante, nas próximas seções do texto, explicitaremos como foi o processo de construção e aplicação da SD dividindo-a em módulos. A separação da SD em módulos foi decidida com base tanto nos resultados obtidos a cada semana e sua relevância para a pesquisa como com base nos objetivos epistemológicos eleitos para cada etapa da sequência. Portanto, antes de narrar as observações da pesquisa a cada etapa, iniciaremos com uma súmula contendo o tema principal e os objetivos de cada módulo. A tabela 2 traz a divisão da sequência didática inteira nos módulos que são narrados nas seções seguintes. Todas as aulas foram gravadas em vídeo e o material produzido pelos alunos foi recolhido.

V.4 Módulo 1

Quadro V.7: Súmula do Módulo 1

Temática principal	Modelo de Thomson e o contexto técnico e cultural da virada do século XIX para o século XX

Eixo Científico	Origens do átomo, Modelo de Dalton, Modelo de Thomson.
Eixo Cultural	Realismo e impressionismo na pintura. Técnica *halftone*.
Eixo Técnico	Tubo de Crookes, Radioatividade, espectroscopia, experimento de Thomson com o tubo de Crookes.
Principal aspecto de NdC	Relação do contexto sócio-histórico-cultural com o desenvolvimento científico.
Recursos Didáticos	Aulas expositivas dialogadas, vídeo, exibição de pinturas, *slides* com recursos animados para ressaltar alguns aspectos das pinturas, e utilização de objetos concretos.
Duração	Uma aula de 50 minutos e uma aula de 100 minutos para cada turma (total de 1 semana)

Fonte: Dados da pesquisa

Etapa de planejamento

De posse da prévia pesquisa bibliográfica feita sobre o tema histórico, foi criada uma apresentação multimídia com o objetivo de abordar o modelo atômico de Thomson. Dentro deste tema, tivemos a oportunidade de abrir caminho para a discussão da relação entre o conhecimento científico e o meio cultural da época e por isso focamos neste aspecto de NdC para ser trabalhado durante este módulo, que consistiu em uma semana de aulas (1 aula de 50 minutos e 1 aula de 100 minutos, nesta ordem).

Os 22 *slides* (Apêndice 4[7]) foram estruturados em 3 partes: na primeira parte, discutiam-se os antecedentes a respeito do átomo. Embora nossa narrativa estivesse centrada na virada do século, não poderíamos considerar que começou ali a história do atomismo na ciência, sob pena de incorrer em uma pseudo-história (ALLCHIN, 2004). Por isso, iniciamos nossa sequência didática resgatando a etimologia da palavra “átomo” da Grécia antiga, o átomo de Dalton e ressaltando as diferenças de pensamento entre estas diferentes ideias de átomo. Tivemos o cuidado de não

[7] Cabe informar que as apresentações do apêndice possuem efeitos de animação que destacam um ou outro elemento de cada *slide* e que não estão representadas nas páginas impressas. Por esse motivo, no próprio apêndice está disponível endereço eletrônico para o acesso à apresentação original, que também pode ser obtida entrando em contato com o autor.

estender muito esta discussão para não criar desvios do foco de nossa abordagem, centrada na virada do século.

Na segunda parte, abordamos o contexto técnico do século XIX, com a ampola de William Crookes, os estudos sobre a radioatividade e a evolução da espectroscopia com a criação do bico de Bunsen e do espectroscópio. Com isso, evidenciava-se um acúmulo de novos fatos advindos da espectroscopia e dos novos instrumentos que as teorias sobre estrutura da matéria de viés não-discreto não davam conta de explicar. Ainda nesta etapa, foram incluídas uma série de pinturas realistas, impressionistas e pós-impressionistas (em especial da corrente pontilhista), para marcar o eixo cultural da época. A técnica de impressão *halftone*, criada nesta época, também foi explorada nos *slides* e através de um objeto concreto. Tendo em vista que até hoje temos a impressão por pontos tanto nos grandes plotters de editoras que imprimem jornais quanto nas próprias impressoras domésticas que funcionam a jato de tinta, foi distribuído neste momento da aula alguns pedaços de jornal colorido e folhas impressas a jato de tinta, acompanhadas de uma lupa para que os alunos pudessem observar a formação das imagens por pontos e associar tanto aos quadros pontilhistas quanto à técnica *halftone* surgida no período estudado.

Após as duas primeiras partes foi feito um *slide* em branco a ser preenchido em sala, de forma a estimular a participação dos alunos. Neste *slide*, o objetivo era preencher um quadro com as principais características do contexto técnico e do contexto cultural da época, a fim de relacionar com a criação do modelo científico de Thomson.

A terceira e última parte deste módulo consistiu no modelo de Thomson em si. Foi apresentado o experimento, suas observações e conclusões e, ao final, o modelo conforme construído historicamente. Nesta etapa, utilizamos dois recursos: um foi o vídeo de uma ampola de Crookes em funcionamento, que facilitou o entendimento a respeito das observações de Thomson. O segundo recurso foi a utilização de fontes primárias, isto é, textos do próprio Thomson, tanto para contextualizar a sua biografia como para a explicação do modelo em si. As fontes primárias selecionadas foram extratos de artigos do próprio Thomson e de sua biografia, (conforme Apêndice 4, *slides* M1S15 e M1S20, cujas citações traduzidas foram retiradas de Lopes (2009)). Por último, finalizando o módulo, foram apresentadas as analogias que em geral são apresentadas na abordagem deste modelo, sugerindo uma apropriação crítica das mesmas já que o modelo proposto difere substancialmente das analogias (LOPES; MARTINS, 2009; LOPES, 2009).

Resultados e discussão das aplicações em sala de aula – Turmas X e Y

No primeiro dia de aulas para ambas as turmas, houve uma receptividade razoável das aulas. Tanto na turma X como na turma Y surgiram questões sobre a radioatividade, a natureza dos raios catódicos, em especial quando apareciam na apresentação de *slides* as imagens da época de Röentgen com a famosa impressão radiográfica da mão de sua esposa com um anel no dedo. Um aluno especialmente curioso na turma Y fez diversas questões das quais destaco três:

> "Dalton acreditava mesmo [em átomos] ou só usava o modelo...(inaudível)?"

O aluno questiona algo que de fato é relevante na controvérsia entre atomistas e equivalentistas, que é o "status" do átomo proposto por Dalton. Os equivalentistas defendiam que o átomo seria um artifício parecido com o equivalente com a desvantagem de incluir um ente metafísico na ciência, o que estes consideravam inadmissível (OKI, 2009). Embora nossa proposta não perpasse a discussão a respeito do átomo de Dalton, é interessante notar como a abordagem histórico-filosófica permitiu a colocação de questões deste tipo.

> A1: "Tá, mas o que isso tem a ver com a matéria a pintura aí?"
> A2: "O que é que isso tem a ver com química?"

Estes dois questionamentos surgiram na turma Y quando da apresentação dos quadros realistas (antes da apresentação dos pontilhistas). No entanto, mesmo após a apresentação e explanação a respeito dos quadros e da sua relação com o contexto da época, os alunos ainda pareciam hesitantes a respeito do entendimento da relação entre os conhecimentos de campos tão distintos, a princípio.

Na turma X as interferências em aula foram muito mais a respeito dos detalhes de experimentos, mas ao chegar na parte das pinturas, eles também se manifestaram bastante. Parece que o fato de as pinturas estarem em um outro domínio do conhecimento (que não o científico, onde o professor é autoridade, na visão dos alunos) fez com que eles se sentissem mais à vontade de dialogar com o professor em patamar de igualdade, colocando os seus saberes a respeito dos quadros. Ou seja, nesse caso, as pinturas serviram como estratégia de diminuição da assimetria na relação aluno-professor, favorecendo a interação entre ambos. Na turma Y, uma aluna iniciou um diálogo sobre as aulas de artes quando foi mostrado um quadro pontilhista, que ela reconheceu. Na turma X, uma aluna trouxe questões sobre a vida de Van

Gogh, que ela conhecia bem, quando foi mostrado um quadro deste pintor. Portanto, podemos dizer que, como observado por Galili (2013), as pinturas possibilitaram despertar a atenção de um público maior que o usual em aulas de ciências, o que já é por si só um indício muito positivo em relação às aulas tradicionais.

Uma outra observação muito importante é que a utilização de um vídeo mostrando o experimento de Thomson com o tubo de Crookes em ação prendeu de maneira inequívoca a atenção dos alunos. Na turma Y, foi possível ouvir algumas exclamações de excitação quando o experimento foi mostrado. Por outro lado, a utilização da lupa e de um jornal impresso circulando pela sala para que os alunos observassem a técnica *halftone* não surtiu tanto efeito, os alunos não mostraram tanto interesse nesta atividade que ocorreu em paralelo à aula expositiva dialogada. Houve também a utilização (ainda que tênue) de citações originais da obra de J. J. Thomson, mas, do ponto de vista da aceitação dos alunos, este não foi um destaque nem positivo nem negativo deste primeiro módulo.

Algo que começa a aparecer na abordagem, também em segundo plano, é o embate entre o conhecimento científico (registrado nos documentos da história da ciência) e a ciência escolar. Isto fica muito claro quando da abordagem do modelo de Thomson pois o enfoque dos livros didáticos em geral se resume a uma analogia com um pudim de passas, que apesar inapropriada (LOPES; MARTINS, 2009) é profundamente arraigada no ensino de modelos atômicos. Portanto, coloca-se o desafio: como abordar, em um enfoque histórico-filosófico, temas que conflitam com a ciência escolar sedimentada nos livros didáticos? A estratégia usada neste primeiro módulo foi exibir as duas versões (a versão histórica e a versão dos livros didáticos) comparando explicitamente uma com a outra e mostrando a impropriedade da analogia exibida nos livros. Neste momento, esta escolha não foi crítica, uma vez que o modelo científico não se distancia tanto da analogia criada, embora esta seja inapropriada. Em módulos futuros, isto se tornará um dilema maior.

Todos esses resultados foram levados ao seminário semanal do grupo de pesquisa e, após debate e troca de impressões sobre as situações de sala de aula, ficou claro para o grupo que os alunos não conseguiram conceber a ciência como um produto que guarda fortes relações com o meio sócio-histórico-cultural de uma época, de sorte que a orientação para os próximos módulos foi a de que esta questão deveria ser aprofundada inclusive como forma de negar a linearidade da ciência, que seria a questão a ser trabalhada no módulo seguinte. Das estratégias desenvolvidas, os vídeos estiveram em alta e as pinturas e imagens históricas também deram bons

resultados. Dessa forma, a manutenção destas estratégias foi combinada para o módulo 2.

V.5 Módulo 2

Quadro V.8: Súmula do Módulo 2

Temática principal	Modelos Planetários para o átomo
Eixo Científico	Modelos de Nagaoka, Perrin, Nicholson e Rutherford
Eixo Cultural	Técnicas de pintura sfumato e cloisonismo. Contexto Europeu. Movimento Browniano e *annus mirabilis* de A. Einstein.
Eixo Técnico	Experimento da folha de ouro.
Principal aspecto de NdC	Ciência como construção coletiva e sua não-linearidade.
Recursos Didáticos	Aulas expositivas dialogadas, vídeos, exibição de imagens de época, aplicativo simulador do experimento da folha de ouro.
Duração	Na ordem: uma aula de 50 minutos, uma de 100 minutos e uma segunda aula de 50 minutos.

Fonte: Dados da pesquisa

Etapa de planejamento

Para esta etapa da SD, foram criadas duas apresentações multimídia de 31 e 16 *slides*, respectivamente (Apêndice 5). O objetivo com esta sequência de aulas era, dando continuidade ao tema anterior, iniciar os estudos dos modelos planetários para o átomo, ou seja, de Nagaoka (o modelo saturniano), Perrin, Nicholson e Rutherford. Aproveitando o fato de termos pelo menos 4 personagens históricos em torno de modelos que são aproximadamente iguais, elegemos como a questão principal de NdC a ser tratada “a ciência como construção coletiva e sua não-linearidade”. As estratégias que obtiveram sucesso no primeiro módulo foram mantidas (vídeos, imagens) e outras, como utilização de aplicativos foram incluídas.

Antes do início do segundo módulo, logo no primeiro *slide* funcional da apresentação (após o *slide* que resumia as discussões do módulo anterior, decidimos colocar um *slide*[8] em que a relação da tecnologia e da ciência com o contexto cultural pudesse ficar mais clara a partir do cotidiano dos alunos, notadamente em função das discussões no seminário de pesquisa e as observações do professor/pesquisador em campo que apontaram para uma baixa compreensão dos alunos a respeito desta relação. Sendo assim, utilizamos um *slide* em que era feita uma relação entre um óculos de realidade virtual que se integra ao corpo humano e um desenho animado conhecido dos alunos em que uma raça alienígena humanoide também utiliza óculos com funções parecidas.



Fig. V.9: *Slide* M2S3 sobre Contexto Cultural

A ideia do *slide* (que foi discutida com os alunos) era que embora não se pudesse determinar inequivocamente a influência de um evento sobre o outro ou estabelecer uma relação direta de causa e consequência, ambos tratavam da mesma questão: a possibilidade de integração do homem a artefatos técnicos – um conceito conhecido como computação vestível. Isso evidencia uma relação entre ambos os fatos que é contextual e que se manifesta ora em uma criação artística como o desenho animado em questão e ora na criação de um artefato tecnológico ou no desenvolvimento de modelos científicos.

[8] O código atribuído aos slides na legenda das imagens (quando houver) está esclarecido no apêndice deste trabalho.

Poderíamos dizer que por compartilharem um mesmo contexto histórico, configura-se uma relação de “condições de possibilidades históricas” como aponta Foucault (*apud* GALISON, 1999). Para o filósofo, “as unidades de análise são conceitos, e as condições históricas de possibilidade descrevem como um conjunto de conceitos depende do outro, onde esta dependência é específica daquele momento histórico”. Galison (1999) vai além e conceitua como “condições para comportamentos possíveis”, considerando que as possibilidades não são meramente conceituais e as ações não são puramente intelectuais. De toda maneira, a ideia que reside neste conceito é importante para nossa ação pedagógica: em cada momento histórico há uma teia de relações complexas (e não totalmente evidente) entre os diversos fatos históricos contemporâneos entre si que formam as condições que constituem as possibilidades de criação nas diversas áreas do saber, sejam as ciências, as artes, as técnicas, ou outras áreas. Essa observação dialoga com a percepção sobre a complexidade da construção da ciência a qual pretendemos fazer com que os alunos progressivamente alcancem, através de sua discussão.

Esta introdução presente no material serviu como ponto de partida para a primeira parte deste módulo, que tratava da biografia e do contexto do cientista Hamtaro Nagaoka. Nesse módulo, foram utilizadas imagens da época e local onde Nagaoka estudou na Europa e também imagens do Rio de Janeiro do início do século XX. Foram utilizadas muitas citações de textos originais (*Slides* M2S9, M2S11, retiradas de Lopes (2009)), a partir das quais o professor construiria os modelos junto com os alunos. No segundo momento do módulo, houve uma volta à arte, explorando desta vez algumas técnicas específicas de pinturas realistas e impressionistas, como o *sfumato* e o cloisonismo. Além disso, foi abordado o ano miraculoso de Einstein como forma de contextualizar o desenvolvimento dos modelos atômicos dentro da própria ciência, isto é, situar as demais discussões que eram travadas no ambiente científico da época.

Ainda com este intuito e retomando a questão atômica, foi incluído um vídeo que mostrava partículas em movimento browniano que tiveram, historicamente, um papel importante na consolidação do programa atomista iniciado por Dalton (OKI, 2009). Iniciava-se assim a segunda parte do módulo, cujo objetivo era discutir explicitamente tanto a consolidação para o atomismo proporcionada pelos experimentos de Jean Perrin, quanto o modelo atômico proposto por este personagem histórico. Muitas citações de originais foram usadas (*Slides* M2S19, M2S20, M2S22 e M2S23, retiradas de Kragh (2010) e Silva (2010)).

Na terceira etapa do módulo, o tema foi a quantização de energia de Max Planck e o átomo de John Nicholson. Novamente, utilizou-se muitas citações (*Slides* M2S27, M2S28, M2S29, retiradas de Lopes(2009)), mas poucas imagens, desta vez. Na quarta e última etapa, o objetivo foi abordar o modelo atômico de Rutherford. Nesta etapa foram utilizados esquemas para representar o experimento da folha de ouro, um vídeo de uma réplica do experimento e um aplicativo interativo do site PhET[9] para tratar dos resultados do experimento e sua implicação para o modelo atômico. Antes desta etapa, foram feitos dois *slides* destinados a resumir as informações a respeito dos modelos planetários já abordados até então. Algumas mudanças nesta última etapa já foram implementadas em função das outras etapas iniciais do módulo, que serão detalhadas ao longo da seção sobre a análise da aplicação do módulo.

Resultados e discussão das aplicações em sala de aula – Turmas X e Y

O *slide* sobre o contexto cultural teve claro impacto em ambas as turmas, com a participação dos estudantes contribuindo com informações a respeito do desenho animado escolhido pelo professor. A identificação dos alunos com o desenho animado, que constitui um aspecto de sua realidade, do seu domínio-fonte (se identificarmos isso como uma analogia), possibilitou uma maior participação deles em ambas as turmas. Na turma Y, um aluno questionou se seria possível dizer que o desenho animado influenciou o desenvolvimento dos óculos de realidade virtual. O professor retruca dizendo que na realidade não há este tipo de influência direta, mas que é possível dizer que ambas criações compartilham um contexto que deu como produto a criação do desenho animado em um domínio do saber humano, mais ligado às artes, e também a criação de aparatos tecnológicos que compartilham desta ideia que o professor chamou de “androidização” do homem, em referência à computação vestível. Levado o resultado para o seminário de pesquisa, foi levantado que talvez a própria organização do *slide* (Figura 9), em uma análise semiótica, poderia ter conduzido os alunos a uma ideia de causa e consequência direta, já que as imagens estavam dispostas linearmente no sentido usual de leitura (da esquerda para a direita). Este é um aspecto importante, mas como tal questão foi colocada e discutida verbalmente em sala, talvez o impacto desta inadequação semiótica do *slide* tenha sido atenuada.

[9] Disponível em < http://phet.colorado.edu/pt/simulation/rutherford-scattering>. Acessado em 20/11/2014.

Ao falar do modelo do Hamtaro Nagaoka, o professor traz elementos ora instigantes, ora de contextualização e ora de humor para compor o momento expositivo e manter a atenção da turma nos detalhes da narrativa. O mapa mundi com nomes dos países em japonês é algo que chama a atenção e ajuda a "viajar" para os contextos em que Nagaoka circulou. As fotografias dos locais onde Nagaoka esteve, bem como do Rio de Janeiro da época (como uma forma de situar no tempo o momento em que se deram as pesquisas do cientista japonês) mostraram-se bastante atrativas e nota-se pelo vídeo da aula o nível maior de atenção neste momento. O desenho japonês do rato Hamtaro foi a primeira associação dos alunos (tanto na turma X quanto na turma Y) quando o professor começou a falar sobre o cientista Hamtaro Nagaoka. Sabendo previamente que eles fariam essa associação (por conhecer o desenho e a época em que ele foi exibido), o professor incluiu uma brincadeira em sua apresentação a fim de descontrair um pouco e chamar a atenção dos alunos, estratégia que foi efetiva. Durante a explicação do modelo de Nagaoka que foi feita através de citações dos seus originais (especialmente no *slide* M2S9), o professor desenhava no quadro uma projeção de como seria o modelo de um ponto de vista gráfico, uma vez que nas fontes primárias e secundárias não foram encontradas imagens do modelo.

Uma questão que surgiu em diferentes momentos nas duas turmas pesquisadas diz respeito a detalhes sobre como os cientistas trabalham, isto é, como funciona a comunicação de resultados no meio acadêmico ou como os cientistas tomam conhecimento a respeito de trabalhos de outros cientistas. Isso aponta para a necessidade de explicitar nas aulas os suportes (periódicos, livros, publicações) em que se davam os debates a respeito dos temas em estudo e como era a circulação do conhecimento em cada período, uma vez que os contextos históricos passados na maioria das vezes em nada se parecem com o cenário atual de informação em grande volume e comunicação praticamente instantânea.

Em ambas as turmas, a inclusão de tópicos da própria ciência como fator de contextualização, também, se mostrou oportuno para promover o diálogo em sala de aula, isto é, os alunos sentiram-se à vontade para discutir temas sobre os quais já haviam lido a respeito, dada a figura histórica emblemática e famosa que é Albert Einstein. Discutiu-se na turma X sobre a nacionalidade e biografia do cientista e na turma Y, a respeito da natureza da luz, partindo do efeito fotoelétrico. Na oportunidade, foi utilizado o tema "O Ano miraculoso de Einstein" para contextualizar as discussões a respeito dos modelos atômicos dentro da própria ciência, isto é, em que contexto científico dava-se a criação dos diversos modelos atômicos que estudávamos e ainda

que temas estudados por Einstein dialogavam com a consolidação do entendimento da matéria como discreta e não contínua. Neste contexto, foram abordados com mais ênfase o efeito fotoelétrico e o movimento browniano. Este segundo pavimentou o caminho para a abordagem do modelo atômico de Jean Perrin.

No momento da abordagem dos modelos de Perrin e Nicholson, o número de intervenções diminuiu um pouco na turma Y e na turma X praticamente não houveram perguntas ou participações de alunos. Este talvez tenha sido o momento em que houve maior densidade de conteúdo histórico em todo o curso. Ao final da aula, segundo anotações em diário e conforme pode ser observado no vídeo, uma aluna vem falar ao professor sobre sua dificuldade em acompanhar a aula sobre Nicholson e Perrin. Ela dizia ser muito interessante a aula, porém que havia “muita informação” em um curto período. Conforme Forato, Martins e Pietrocola (2011), um desafio das abordagens histórico-filosóficas em sala de aula é a tensão entre a compreensibilidade e o rigor histórico. Este pode ter sido um momento onde o rigor histórico sobrepujou um pouco a compreensibilidade, ao detalhar muito os três modelos abordados nesta etapa. Cabe ressaltar também que nos *slides* desta sequência (em especial ao falar de Perrin e Nicholson) as citações diretas dos próprios cientistas foram privilegiadas em relação ao uso de imagens, o que pode ter deixado as aulas fastidiosas aos alunos, em contraposição ao que havia ocorrido logo no início deste módulo.

Feitas estas observações, foram realizados alguns ajustes para a parte final do módulo, que abordou o modelo de Rutherford: foram utilizados vídeos a respeito do experimento, uma animação do site PhET (nota de rodapé número 9) e mais imagens sobre o experimento e do modelo em si. Como observado em outras oportunidades, a utilização de vídeos e simulações aumenta a atenção dos alunos na aula e fomenta a sua participação em aula. Na aula sobre o modelo de Rutherford, foram utilizados poucos elementos de contextualização, isto é, o enfoque esteve no eixo técnico e no eixo científico.

Tanto na turma Y quanto na turma X começaram a surgir questionamentos sobre como seria feita a avaliação a respeito dos modelos atômicos. Na turma X, a questão é colocada de uma forma mais burocrática, limitada a saber como seriam divididos os pontos do trimestre, enquanto na turma Y há uma manifestação a respeito da preocupação com os muitos nomes e detalhes que foram colocados durante as aulas. O professor procurou tranquilizá-los com a informação de que eles ainda fariam atividades e estudos dirigidos que abordariam o tipo de questão que seriam mais

importantes (de cunho mais epistemológico, mas também a respeito da própria história dos modelos) em avaliações formais.

Ainda ao abordar o modelo de Rutherford, houve um segundo grande conflito entre a versão histórica de acordo com as fontes secundárias consultadas, e a versão dos livros didáticos. Em particular, no livro didático adotado pela escola[10], o modelo atômico de Rutherford é apresentado como dotado de um núcleo positivo que é responsável pela maior parte da massa do átomo, contendo prótons (que explicaria, através da repulsão elétrica, o fato de algumas das partículas que atravessavam a folha de ouro serem desviadas). Conforme abordado no capítulo anterior, o modelo proposto por Rutherford não se utilizava de prótons, que só foram propostos muito depois da proposta de Bohr para o átomo, assim como os nêutrons. Além disso, o núcleo não era tratado como possuindo carga positiva; a única informação sobre carga dada por Rutherford em seu artigo de 1911 era que as partículas que orbitavam em torno do núcleo possuíam carga oposta à carga do núcleo, de forma a garantir a estabilidade do átomo. Estas simplificações contidas no livro didático são muito mais graves que as simplificações do modelo de Thomson, pois todo o conteúdo a respeito de estrutura do átomo que costuma ser abordado após a explicação do átomo de Rutherford pressupõe um átomo com nêutrons, prótons e elétrons, para determinar as relações de isotopia e introduzir à formação de íons, só para exemplificar dois conceitos fundamentais para a química.

A postura do professor, desta vez, foi a de apresentar as duas versões, discutir o problema do que estava veiculado nos livros didáticos, e, por fim, justificar a utilização do modelo atômico apresentado pelo livro (mesmo errado) uma vez que seria necessário, para o andamento da disciplina, estudar um átomo que possuísse prótons, nêutrons e elétrons, ainda que ele não pudesse ser atribuído precisamente a Rutherford. Olhando criticamente a postura do professor, creio que essa dificuldade em gerenciar este conflito em específico acabou por endossar o erro do livro didático. Uma possível solução poderia ter sido introduzir o conteúdo de estrutura atômica apenas após o modelo de Bohr, embora isso fosse tornar a última parte da SD muito densa em conteúdos técnicos (ao somar-se com distribuição eletrônica em subníveis de energia), possivelmente atrapalhando a aprendizagem destes conteúdos por parte dos alunos.

[10] PERUZZO, F. M.; CANTO, E. M. Química na abordagem do cotidiano – volume 1. 4ª Edição. São Paulo: Moderna, 2010.

Estes resultados foram levados ao grupo de pesquisa e discutidos. Uma questão que ficou patente ao final deste módulo foi o quase esgotamento de fontes pessoais do docente para adensar o contexto cultural do último módulo (o seguinte). O trecho final deste módulo ficou marcado pela quase ausência de aspectos culturais, com o foco no eixo técnico e no eixo científico. Esse foco foi planejado previamente mas ocorreu concomitantemente ao esgotamento do conhecimento geral do professor sobre o período trabalhado, ao que o grupo de pesquisa ajudou-o a trazer mais elementos para compor o eixo cultural. Isto aponta para a importância da formação geral do professor neste processo. Um docente com cultura geral fraca certamente enfrentará problemas para implementar a abordagem proposta neste trabalho. Propor aos alunos uma discussão ampla sobre as relações que a ciência faz com seu contexto pressupõe um conhecimento do professor sobre estas relações e sobre o próprio contexto, ou ao menos sua inserção em um grupo de trabalho (seja de pesquisa, seja uma comunidade de aprendizagem[11], seja simplesmente o contato com outro professor em um trabalho interdisciplinar) em que este conhecimento possa ser promovido no professor. É um desafio ao qual o docente não pode se furtar se a intenção é discutir a ciência como um construto culturalmente imerso.

V.6 Atividade 1

Nesta atividade (Apêndice 2) foi proposto aos alunos que, em grupos, construíssem um esquema gráfico que organizasse o que havia sido estudado até aquele momento. Os alunos foram convidados a montar pequenos resumos sobre os modelos atômicos e o estudo da estrutura da matéria que eles achassem relevantes e deveriam dispor isso de uma forma que comunicasse algo sobre o desenvolvimento destes modelos. No roteiro entregue, haviam três sugestões: os resumos poderiam estar dispostos ao longo de uma espiral ou em torno de um cilindro ou nos galhos de uma árvore. Eles poderiam escolher qualquer outra forma de dispor os pequenos resumos além dessas três maneiras e isso lhes foi comunicado no momento da aplicação da atividade.

[11] Conforme Pimenta (2002) a comunidade de aprendizagem constituiria a prática reflexiva do “professor reflexivo” quando realizada em coletivos dentro das escolas, com apoios e estímulos mútuos.

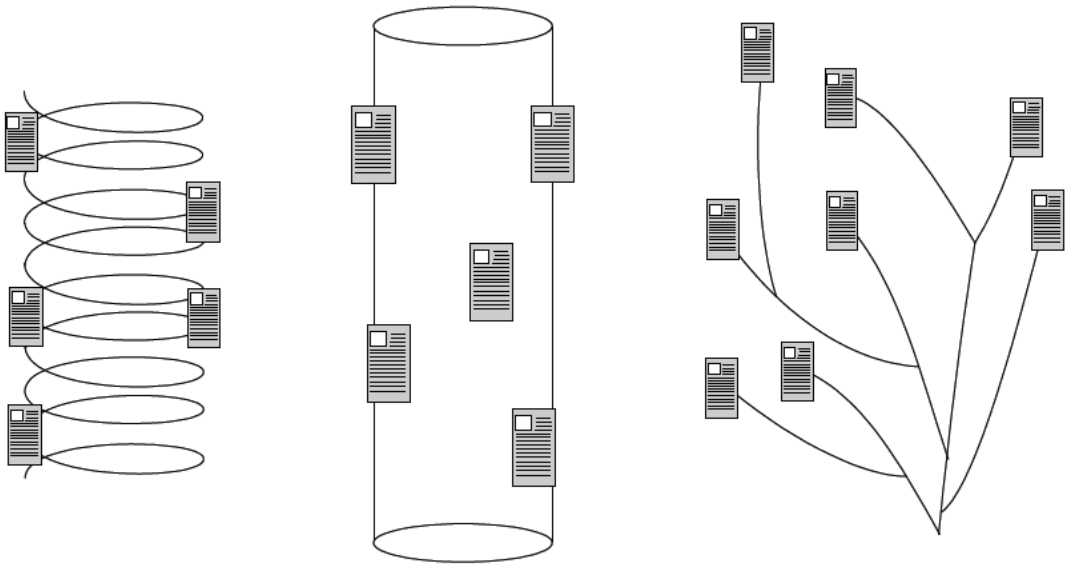


Figura V.10: Sugestões[12] de disposição do conteúdo presentes no roteiro da atividade
Fonte: Construído pelo autor

Uma diferença importante sobre a aplicação da atividade nas duas turmas é que na turma X ela teve que ser dividida em dois dias diferentes, um tempo em cada dia. Com isso, os alunos podem ter consultado fontes em casa que eventualmente interferiram na confecção do trabalho. Já para a turma Y, o trabalho foi iniciado e terminado em um mesmo dia, durante uma aula de 100 minutos na qual os alunos só poderiam consultar seu próprio material (estavam vedadas consultas à internet e restringidas também as consultas aos *slides*). No entanto, os alunos poderiam fazer consultas ao professor sobre questões pontuais a respeito dos modelos e do contexto histórico deles. Em ambos os casos, o professor procurou não intervir no conteúdo selecionado pelos alunos para figurar no esquema gráfico, apenas forneceu tirou dúvidas pontuais dos alunos.

A atividade tinha basicamente dois objetivos: um era obter dados parciais para a pesquisa procurando analisar que tipo de concepções a respeito da construção dos modelos atômicos os alunos tinham construído até aquele momento. Sendo esta uma pesquisa-ação, a análise destas concepções também orientaria os passos seguintes no sentido de ajustar a condução do sequência didática às necessidades manifestadas naquele momento, com o objetivo de aproximar-se da situação final delineada no plano de pesquisa-ação formulado. Sendo assim, procuramos nesta atividade alguns indícios das produções dos alunos que nos permitem extrair os tipos de informações

[12] Chamaremos estes três modelos de espiral, cilindro e árvore, na ordem da esquerda para a direita.

pretendida, o que foi feito a partir de três parâmetros que ajudaram na emergência das categorias. São eles:

P1. **Forma como o grupo escolheu representar e justificativa** – procuramos índices de compreensão epistemológica dos alunos a partir da forma como eles escolheram dispor os conteúdos. Eles foram previamente avisados de que cada forma de dispor conteúdos sempre pretende "comunicar algo", assim como o infográfico de um jornal. Concepções como linearidade ou hierarquia entre os modelos foram avaliados a partir deste parâmetro.

P2. **Modelos que escolheu representar** – avaliamos quais foram os modelos incluídos e excluídos na produção dos alunos, já que não havia qualquer orientação sobre quais deveriam ser representados ou não. Uma maior incidência de representação de alguns modelos em detrimento de outros pode indicar uma hierarquização, uma seleção de personagens, de modelos e de uma história da ciência como mais importantes em relação a outros, que seriam histórias auxiliares.

P3. **Tipo de explicação acerca do modelo** – neste parâmetro procuramos observar que tipo de informações sobre cada modelo os grupos acharam importante representar, isto é, que aspectos eles consideram mais relevantes dos modelos escolhidos.

Esclarecidos os parâmetros, passamos à análise dos trabalhos dos grupos por turma, organizada em quadros. Há ainda algumas observações de relevância para o trabalho de cada grupo.

Quadro V.9: Descrição dos resultados da atividade 1 – Grupos da turma X

Grupo	Breve descrição	Justificativa para a representação	Modelos Escolhidos	Tipos de Explicação
1	O grupo desenhou uma árvore com diversas ramificações onde as folhas trazem pequenos textos.	Possibilidade de uma melhor organização e porque "*a forma de árvore representa a natureza, e a ciência química que explica os fenômenos naturais assim como estes modelos atômicos*".	Rutherford, Perrin, Nicholson, Nagaoka, Bohr, Dalton. Há ainda "folhas" para Crookes e outra para a radioatividade.	Praticamente restringem-se ao eixo científico, com detalhes sobre a constituição de cada modelo. Nas "folhas" sobre Crookes e radioatividade, há considerações sobre o eixo técnico.
Observações	Algo que chama a atenção neste trabalho é a presença do átomo de Bohr, que não havia sido abordado ainda.			

Continua >>

Grupo	Breve descrição	Justificativa para a representação	Modelos Escolhidos	Tipos de Explicação
2	O grupo desenhou uma linha do tempo com modelos marcados em anos específicos, contendo pequenos textos e desenhos sobre cada modelo e com preocupação geométrica na distância entre os eventos.	Acham importante mostrar *"como a ideia de cada atomista influenciou na ideia do próximo"*. Além disso, *"esquematizando em linha do tempo a compreensão se torna mais fácil e nosso resumo fica mais organizado".*	Na ordem: Demócrito/Leucipo, Dalton, Thomson, Nagaoka e Rutherford.	Há prevalência de informações biográficas acerca dos cientistas e informações do eixo científico. Há ainda pequenas ilustrações a respeito de cada modelo, onde também prevalecem informações visuais acerca do eixo científico.
Observações	No texto sobre o modelo de Thomson há apenas informações biográficas. O átomo grego figura no início bem mais distante dos outros modelos que encontram-se mais "amontoados" entre si.			
3	O grupo optou por uma linha do tempo contendo apenas textos sobre cada modelo, marcado em um ano específico.	Justificou a escolha da linha do tempo porque com ela é possível *"observar melhor que cada modelo atômico é baseado em modelos atômicos anteriores e assim entender a evolução dos modelos atômicos e o contexto científico da época"*	Na ordem: Dalton, Jean Perrin, Nagaoka, Thomson, Rutherford e Nicholson.	Presença apenas de informações do eixo científico no resumo.
Observações	Parece que para sustentar a opinião de que cada modelo é baseado em anteriores, os membros deste grupo acabaram criando uma história fictícia do desenvolvimento dos modelos atômicos, ao dizer, por exemplo, que o modelo de Jean Perrin "como todos os modelos que surgiram ao logo do tempo" baseou-se no modelo de Dalton. Ou ainda que o modelo de Thomson possuía uma "massa central positiva com anéis de elétrons em volta".			
4	Este grupo organizou os modelos utilizando a sugestão do cilindro, mas fazendo uma analogia com um prédio. Os textos mais acima no cilindro representam um tempo mais avançado, mencionando anos específicos para os modelos.	*"O primeiro andar seria a primeira descoberta de modelos atômicos. De acordo com a altura, aumenta-se o tempo, e é representado um novo modelo atômico"*	Na ordem: Dalton, Thomson, Nagaoka, Rutherford e Nicholson.	Informações dedicadas apenas a aspectos científicos do modelo como organização estrutural ou suas premissas / poder de previsão.
Observações	O grupo deixou espaços para "fotos" ou imagens do modelo, mas não preencheu com qualquer imagem.			
5	Neste grupo, a organização escolhida foi um	O motivo alegado foi *"para melhor explicar*	Dalton, Thomson e	As informações escolhidas foram principalmente do eixo

Continua >>

	"fluxograma" cronológico. Os modelos escolhidos foram descritos em caixas de texto ligados por linhas e organizados em ordem crescente de ano.	*cronologicamente".*	Rutherford.	científico, mas também houve explicação do eixo técnico especialmente nos modelos de Thomson e Rutherford. Os alunos também utilizaram pequenos desenhos para cada modelo.
Observações	Ao escrever sobre o modelo de Rutherford, há uma mescla de informações entre o modelo didático e o modelo histórico.			
6	O grupo 6 optou por organizar os modelos em uma árvore onde cada folha traz um breve resumo dos modelos.	A justificativa foi que *"para criar um novo modelo atômico, é necessário olhar para aqueles que vieram antes, ou seja, todos estão interligados como as folhas de uma árvore"*.	Dalton, Rutherford, Nagaoka, Thomson, Perrin.	Informações concentradas principalmente no tipo científico, mas há também pequenas referências aos experimentos com os quais os modelos de Perrin e Rutherford se relacionam.
Observações	Embora apontem na justificativa a dependência do modelo em relação ao anterior do ponto de vista temporal, a árvore desenhada, com folhas nas pontas não revela essa precedência. Há, portanto, uma incoerência nesse sentido.			

Final do quadro |

Quadro V.10: Descrição dos resultados da Atividade 1 – Grupos da Turma Y

Grupo	Breve descrição	Justificativa para a representação	Modelos Escolhidos	Tipos de Explicação
1	Este grupo organizou as caixas de texto com os resumos sobre os modelos em uma espiral cronológica crescente do mais externo ao mais interno.	Escolheram organizar cronologicamente "porque os modelos anteriores influenciam nos modelos seguintes"	Dalton, Thomson, Nagaoka, Jean Perrin, Nicholson e Rutherford. Há outras caixas de texto sobre o atomismo de uma maneira mais genérica, sobre a espectroscopia e sobre Max Planck.	As sucintas explicações privilegiam o "eixo científico". Embora seja importante considerar a explicação sobre espectroscopia (eixo técnico) e os dois textos sobre Planck e o outro sobre atomismo em linhas gerais que traz as bases iniciais do atomismo de Dalton: as leis de conservação das massas e das proporções constantes.
Observações	Os alunos justificaram o fato de terem feito uma ordem cronológica mas eles mesmos não seguiram essa ordem. Dois exemplos: o modelo de Perrin foi colocado após o de Nagaoka e o texto sobre Planck (datado de 1900, como eles próprios colocaram) foi colocado após Nagaoka e Perrin.			
2	O grupo organizou em uma linha do tempo que eles próprios chamaram de árvore, com galhos perfeitamente	Os alunos justificaram dizendo que é a forma mais fácil e clara de representar a evolução dos modelos já que "ao longo do tempo os	Leucipo/Demócrito, Dalton, Thomson, Nagaoka e Rutherford.	Os alunos deste grupo mantiveram suas explicações dentro dos domínios científico e técnico. Muitas vezes explicitando as relações entre experimento e modelo ou

Continua >>

	alinhados ora à esquerda e ora à direita, com aspecto mais de linha do tempo, onde, embora não hajam datas, está disposta cronologicamente.	estudos foram se aprofundando, à medida que a tecnologia vai evoluindo, vai ser mais claro para ocorrer estudos e experiências"		entre as motivações e pontos de partida de cada modelo. Usaram pequenos desenhos para esquematizar o experimento de Rutherford e o modelo de Thomson.
Observações	Embora tenham chamado de "árvore", o modelo escolhido assemelha-se muito mais a uma linha do tempo, embora sem destaque para datas.			
Grupo	**Breve descrição**	**Justificativa para a representação**	**Modelos Escolhidos**	**Tipos de Explicação**
3	Organizado em formato de árvore, onde o resumo sobre o primeiro modelo se localiza na raiz da árvore e os demais estão pendurados nos galhos.	*"A árvore vai de baixo para cima, da forma de criação, com Leucipo na raiz, pois foi ele que criou a definição de átomo e no topo está Rutherford, que é o ultimo modelo feito."*	Leucipo, Dalton, Thomson e Rutherford.	Foram privilegiadas as explicações relacionadas ao eixo científico, estritamente, isto é, apenas como era a estrutura atômica de cada modelo proposto. Também foi desenhada uma figura para cada átomo.
Observações	A organização deste trabalho traz a colocação do átomo filosófico de Leucipo e Demócrito como o início de uma tradição atomista.			
4	Neste trabalho, os alunos optaram pelo formato de árvore e colocaram em sua base uma definição para alquimia, de onde derivam as ramificações. Antes dos quatro modelos abordados, foram escritas definições de átomo, substância química e processo químico.	*"A árvore simboliza as origens e a evolução, pois uma coisa surge da outra e os galhos ligam esse surgimento"*	Dalton, Nagaoka, Thomson e Nicholson. Há ainda caixas de texto para o átomo grego (bem suscintamente), substância e processo químico.	Nas explicações sobre os diversos modelos foram privilegiados apenas os aspectos do eixo científico. Nos quadros sobre alquimia, substância e processo químico, foram colocadas as definições destes termos. Incluíram ainda uma definição etimológica da palavra "átomo".
Observações				
5	O grupo 5 fez uma linha do tempo dos modelos atômicos (assim intitulada, inclusive). Há uma linha com anos marcados para cada	*"A linha do tempo foi escolhida por representar melhor a ordem cronológica dos modelos, exemplificando a comparação e evolução*	Dalton, Thomson, Nagaoka e Rutherford.	Foram sintetizadas as características elementares de cada modelo. Além disso, explicitaram em todos os casos as teorias ou técnicas com as quais cada modelo dialogava. A atribuição do experimento das

Continua >>

	modelo.	*existente entre os modelos"*		partículas alfa foi dada a Rutherford "e seus alunos".
Observações				
6	Este grupo optou por organizar os modelos em uma espiral, conforme o protótipo da proposta de trabalho, com quatro quadros sobre modelos atômicos selecionados e um quadro sobre "outros modelos"	*"Escolhemos a espiral pois acreditamos que todos os modelos tem uma relação, algo que os ligue, mas não necessariamente há uma evolução nos modelos. Só sabemos qual modelo é o certo, ou o mais próximo do certo quando descobrirmos a verdade, quando vermos os átomos. Ao longo dos tempos os modelos criados tentam explicar ao máximo o que é visto em experimentos, na natureza e no dia-a-dia, alguns se aproximam das explicações mas o certo ainda não se sabe"*	Dalton, Thomson, Nagaoka, Rutherford e "outros modelos – Perrin e Nicholson"	Este grupo também privilegiou as características dos modelos em si, eixo científico. No entanto, há algumas referências a críticas aos modelos e limites explicativos.
Observações				

Final do quadro |

Analisando as construções dos grupos da turma X com base nos parâmetros escolhidos, chegamos a algumas observações a respeito dos resultados desta atividade.

P1. Dos seis grupos analisados, quatro utilizaram organizações baseadas em linhas do tempo justificando como sendo uma melhor forma de organizar, já que um modelo sempre influencia o próximo. Dos outros dois, que escolheram o formato de "árvore" ramificada, um justificou também utilizando a necessidade de expressar a influência de um modelo anterior no modelo "seguinte", uma visão claramente linear da ciência. Algo que reforça essa impressão é a resposta do grupo 3, em que o Thomson vira um átomo planetário, endossando a linearidade. O modelo de Thomson, apesar de cronologicamente ter surgido após 1901, ou seja, após o modelo de Perrin, não era um modelo planetário. Talvez este ponto não tenha ficado claro para o grupo ou os alunos de uma forma geral não tenham conseguido enxergar o alcance epistemológico deste fato.

P2. Dos personagens ocultos dos livros didáticos (Perrin, Nagaoka e Nicholson), Nagaoka figurou nas representações de todos os grupos, exceto de um. Já Perrin e Nicholson figuraram na metade dos grupos, cada um (dois grupos omitiram ambos). Chama a atenção que todos os grupos incluíram Dalton em suas construções e um deles chegou a incluir Bohr

(que não havia sido abordado ainda na SD) em seu desenho. Isso aponta, especialmente nesta turma, que não fez a atividade em dois tempos de aula contíguos, que o livro didático pode ter servido de parâmetro para a escolha. Mais uma evidência disso é o que foi colocado pelo grupo 5: exatamente os modelos que constam no livro didático. Essa hipótese é reforçada ainda mais pelo fato de que não foi fornecido aos alunos nenhum texto que pudesse substituir o do livro didático. Eles se valeram apenas dos *slides* que foram disponibilizados e de suas próprias anotações. De toda maneira, o que se observou neste parâmetro não necessariamente aponta para uma construção de uma história da ciência selecionada, mas apenas a uma confusão a respeito dos personagens que deveriam entrar na seleção feita, devido provavelmente à falta de um texto de apoio.

P3. Neste parâmetro, a respeito das explicações dadas acerca de cada modelo, prevaleceu o eixo científico, isto é, os modelos em si, a estrutura atômica conforme cada modelo, que naturalmente apareceram em todos os trabalhos. Em apenas três trabalhos houve explicações que incluíssem o eixo técnico. A respeito do eixo cultural, o grupo 2 faz uma menção tênue ao tratar de biografias de alguns dos responsáveis pelos modelos, mas não consideramos uma apropriação deste eixo no trabalho por ser uma inclusão muito pontual. O comando do exercício pressupunha (e os alunos foram orientados nesse sentido) que deveriam ser incluídas informações a respeito de tudo o que eles achassem importante sobre a construção e desenvolvimento dos modelos atômicos e que aquele material serviria de uma atividade de estudo, já que esta era uma demanda comum deles (“afinal, de todas as informações, o que eles deveriam saber?”). Disso, podemos concluir que esta turma não considerou o fator cultural algo importante nessa construção do ponto de vista da informação que era essencial ou simplesmente relevante.

Na turma Y, as conclusões não mudam muito, em que pese o fato de que na turma Y os alunos iniciaram e concluíram a atividade em uma aula de 100 minutos, sob a supervisão do professor e sem consultas, ao passo que a turma X concluiu a atividade em 2 tempos não contíguos de 50 minutos cada (sujeito a interferência de fontes não-autorizadas, portanto). Nestas condições, tivemos os seguintes resultados:

P1. Os modelos escolhidos para dispor a narrativa foram mais variados: duas espirais (uma delas cronológica), três “árvores” (uma delas assemelhada a

uma linha do tempo) e uma linha do tempo propriamente dita. As justificativas para as escolhas não variaram muito em teor, apesar de terem variado bastante na forma: cinco dos seis grupos evocaram a influência do modelo anterior no seguinte ou a progressividade dos modelos como justificativa para as árvores, a linha do tempo e a espiral cronológica. A outra espiral, não cronológica, foi justificada pelo grupo relembrando uma discussão ocorrida na primeira semana de aulas. Não era possível determinar a aproximação com a realidade ou não. Ou seja, os modelos eram apenas representações parciais da realidade que serviam a propósitos específicos. Isto mostra uma posição epistemológica não-ingênua neste grupo formado majoritariamente de meninas.

P2. A respeito dos personagens, nota-se clara diferença em relação à turma X. Nesta turma, dos cientistas ocultos nos livros didáticos, apenas o Nagaoka foi retratado em todas as produções com destaque (exceto em um grupo, que não o representou). Nicholson e Perrin foram pouco lembrados nesta turma. Houve um grupo (1) que retratou todos os modelos, porém um dos seus integrantes havia copiado o conteúdo de todos os *slides* no caderno, o que os colocou (ao grupo) em desigualdade em relação aos demais, sendo um ponto fora da curva nesta análise. Dalton, Thomson e Rutherford foram retratados por todos os grupos. Esse resultado aponta mais uma vez para a persistência dos modelos ressaltados pelo livro (e, provavelmente, por estudos anteriores) na ausência de um material de apoio adequado à sequência didática.

P3. O eixo científico também prevaleceu nesta turma à mesma proporção encontrada na turma X. Como as orientações foram análogas às da outra turma, chega-se a conclusões parecidas: os alunos parecem ter considerado irrelevantes os fatores culturais em sua reconstrução da narrativa histórica abordada em sala.

Nesta atividade, dois resultados foram particularmente importantes: a constatação da fragilidade das posições epistemológicas dos alunos em especial com relação à linearidade da evolução da ciência e à falta de contextualização a respeito dos modelos criados. É importante salientar que a não explicitação de fatores culturais no resumo construído embora seja um indício forte de que eles, por não considerarem importante, abstraíram esta parte da narrativa, não é conclusiva a esse respeito. Os alunos podem ter entendido que no resumo devia constar apenas os detalhes

concernentes ao eixo científico. Porém, a partir deste resultado, o professor-pesquisador em articulação com o que foi discutido nos seminários de pesquisa a esse respeito resolveu reforçar no módulo seguinte as discussões sobre as questões epistemológicas colocadas até o momento e orientar a atividade final de modo que ficasse mais claro o entendimento a respeito da posição dos alunos acerca do eixo cultural.

V.7 Módulo 3

Quadro V.11: Súmula do Módulo 3

Temática principal	Modelo de Bohr e Modelo Orbital, princípios de química quântica
Eixo Científico	Modelo de Bohr, distribuição eletrônica em subníveis de energia. Modelo Orbital, princípios da química quântica.
Eixo Cultural	Surrealismo, Hereditariedade e De Vries, Cinema mudo, contexto político europeu.
Eixo Técnico	Revisão de Espectroscopia e a questão da medida em sistemas quânticos
Principal aspecto de NdC	Síntese dos aspectos trabalhados anteriormente e a caracterização de modelos científicos.
Recursos Didáticos	Aulas expositivas dialogadas, vídeos, exibição de imagens de época e pinturas.
Duração	Duas aulas de cem minutos cada, em semanas diferentes, intercaladas por uma aula exclusiva sobre distribuição eletrônica.

Fonte: Dados da pesquisa

Etapa de planejamento

Para esta etapa da SD, foram criadas duas apresentações multimídia de 18 e 17 *slides* (Apêndice 6), respectivamente. O objetivo com esta sequência de aulas era abordar o modelo de Bohr e o modelo orbital para o átomo, construído com a contribuição de diversos cientistas. Antes do início do módulo, além da retomada de temas anteriores, foi reservado o espaço de um *slide* (M3S4, conforme figura a seguir) para a discussão de todos os temas de NdC que haviam sido abordados até então, quais sejam: a relação do meio cultural, político e social com a construção da ciência; a relação da instrumentação com o desenvolvimento científico; e como o desenvolvimento dos modelos planetários ilustram um caso de não-linearidade e construção coletiva da ciência, observadas os resultados da atividade 1 e da aplicação dos módulos anteriores.

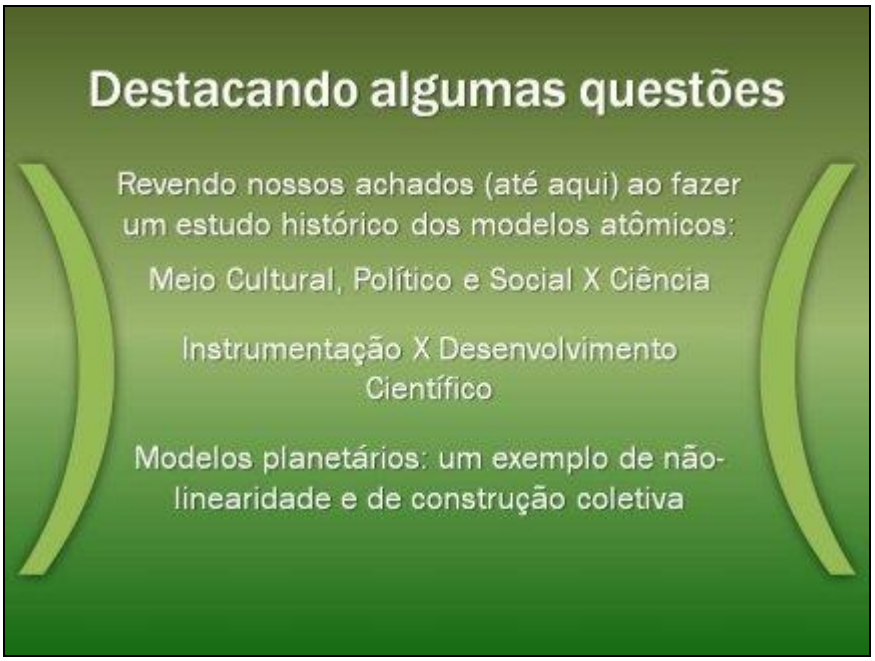


Figura V.11: *Slide* M2S4 – discutindo questões de NdC

Note-se, ainda, que as discussões do grupo de pesquisa encaminharam para necessidade de discutir melhor a relação entre o experimento e a teoria para evitar que fosse passada uma visão empirista extrema, ao tratar de temas como os experimentos de Thomson em tubos de raios catódicos e a relação do experimento da folha de ouro com o modelo de Rutherford. Evidentemente que as observações proporcionadas pelos experimentos estão relacionadas com a construção das teorias, porém esta não é uma relação unívoca de causa e consequência. Como diz Galison, qualquer visão que coloque a observação ou teoria em como precedente uma à outra em um processo de experimentação é apenas uma visão parcial do caráter da

experimentação (GALISON *apud* GUERRA; BRAGA; REIS, 2013). Dessa forma, discutiu-se a experimentação como um ir e vir entre teoria e prática.

Passando ao modelo de Bohr, fez-se uma pequena apresentação de sua biografia, e após foram incluídos *slides* sobre a questão da hereditariedade (de Vries) para retomar a oposição discreto x contínuo abordada no primeiro módulo. Além disso, incluiu-se *slides* sobre o surgimento dos filmes, as primeiras projeções e o início do cinema mudo. Foi exibido um vídeo de Charles Chaplin que, embora pertença a um contexto temporalmente à frente do momento histórico discutido, também, está relacionado com os primórdios do cinema. Essa inclusão foi uma consequência da necessidade manifestada pelo professor e discutida no grupo de pesquisa, de inclusão de novos aspectos para reforçar o "eixo cultural", que ficou um pouco posto de lado durante o módulo 2. Após isso, a apresentação do modelo de Bohr trouxe consigo um aprofundamento de uma questão que foi levantada no módulo 1 em menor peso, e no módulo 2, com alguma relevância: o embate entre o conhecimento científico histórico e a ciência escolar. No caso de Bohr, este problema é mais acentuado: os postulados de Bohr apresentados nos livros didáticos são muito diferentes das proposições de Bohr. Nesse caso, optamos por apresentar apenas a versão dos livros didáticos, avisando aos alunos desta opção. Dessa forma, evitamos entrar em conflito com a ciência escolar em um conteúdo que é decisivo para o entendimento de outros conteúdos escolares que seriam trabalhados posteriormente. O módulo foi concluído com a inclusão de explicações sobre espectros de emissão e distribuição eletrônica. Nesse momento, o professor enfatizou que a inclusão de subníveis no modelo atômico é algo posterior ao modelo de Bohr.

A última parte deste módulo, o modelo orbital, foi incluída por solicitação da coordenação do CAp UFRJ. Estava planejado um fechamento um pouco menor após o modelo de Bohr, mas diante da solicitação da coordenadora, foi incluída uma discussão a respeito dos princípios da mecânica quântica, o modelo orbital e o contexto cultural da época além de fechar com a abordagem das características de modelos científicos. Iniciando este trecho do estudo, foram utilizadas diversas imagens relacionadas à Primeira Guerra Mundial como forma de contextualização política, pinturas surrealistas e um mosaico de cientistas que contribuíram para o desenvolvimento da física quântica. Os princípios da quantização da energia, da incerteza, da dualidade e complementaridade foram apresentados sempre em paralelo com as artes do movimento surrealista produzidas na época. Após isso foi apresentada a definição de orbital atômico e a interpretação probabilística, encerrando com um *slide* com vistas a discussão do conceito de modelo científico sob diversos

aspectos: a relação do modelo com a realidade, em que se baseiam os modelos, suas relações com o contexto em que é criado (e as perguntas que procura responder); com isso, o modelo tem uma temporalidade bem definida e um limite explicativo que se circunscreve àquele determinado contexto histórico, baseado principalmente em Ferreira e Justi (2008). O último *slide* de toda a sequência didática, após abordar questões como o LHC e o bóson de Higgs, deixava uma provocação a respeito do futuro dos modelos atômicos: “Continua?”.

Resultados e discussão das aplicações em sala de aula – Turmas X e Y

No momento inicial do módulo, após uma rápida recapitulação do que havia sido estudado em aulas anteriores, o professor iniciou em ambas as turmas uma discussão sobre as questões de Natureza da Ciência que estavam presentes em cada etapa dos módulos anteriores, até extrapolando um pouco as questões iniciais sobre NdC propostas. As questões destacadas foram: as relações entre o meio cultural, político e social e a ciência; o papel da instrumentação na construção da ciência e como o desenvolvimento dos modelos planetários eram um bom exemplo para entender a ciência como uma produção coletiva.

Na turma X, o debate foi muito pouco profícuo, pois os alunos participaram pouco. Já na turma Y, houve o levantamento de diversas questões por parte dos alunos e os pontos de vista foram questionados e confrontados. Esta diferença talvez se deveu (além dos perfis diferenciados das turmas) às diferentes posturas do professor em ambas situações. No caso da turma X, o professor possuiu uma orientação menos interativa, embora ainda dialógica, segundo as classificações de Mortimer e Scott (2002), ao passo que na turma Y, o professor adotou ainda dialógica, porém mais interativa, provavelmente em virtude de a aula na turma X ter ocorrido antes da aula na turma Y, sendo assim, algumas estratégias que não funcionaram bem na turma X podem ter sido aprimoradas para a aula da turma Y, acarretando nesta diferença. A análise dos vídeos mostra que foi proporcionada uma reflexão coletiva acerca do tema na turma Y. Alguns alunos manifestaram no debate tendência em buscar relações de influência direta entre ciência e arte, o que foi posto em discussão novamente, conforme extrato abaixo.

> [46min30s]
> P: Revendo os nossos achados até aqui, pra gente fazer o nosso estudo histórico sobre os modelos atômicos, o que é que serviu pra gente? Por exemplo: por que é

que eu coloquei aquelas questões sobre arte, sobre política, sobre, enfim, coisas que estavam acontecendo na época? O que é que isso tem a ver com a ciência? [2s] Tempo!! Alguém tem algum palpite?
A1: (em meio a um burburinho) Porque influenciavam nas pesquisas... (inaudível)
P: O que é que tem a ver arte com ciência, o pontilhismo com a ciência?... (um aluno murmura algo) Ahn?
A1: O que a sociedade pergunta é o que os cientistas discutem.
Algumas respostas começam a ser dadas, mas em meio ao burburinho, ficam inconclusas.
P: Eu só quero que vocês notem o seguinte, que não existe a influência direta, tipo "ah, o Thomson estava vendo aqueles..." ou sei lá, "o Dalton estava vendo as pinturas pontilhistas e aí ele teve a ideia do átomo dele". Não, não é isso. A questão é: que na mesma época existiam questões que estavam sendo materializadas na arte através do pontilhismo e na ciência através do átomo, entendeu? Então, são questões que estão sendo discutidas em uma mesma época e aí você tem o surgimento... é... como é que a gente fala?... O desdobramento disso na ciência, o desdobramento disso na arte, o desdobramento disso na literatura e por aí vai.
A2: É por acaso então?
P: Não é por acaso. Não é por acaso, né? Por exemplo, o Google Glass, né, não foi por acaso que inventaram o Google Glass. Essas discussões há um tempo atrás.
(O professor então retoma um pouco as questões discutidas no *slide* sobre o Google Glass)
A3 faz algum comentário, que não é possível ouvir.
P: Não, é aí que eu estou querendo dizer. Não se inspirou no desenho, necessariamente. Pode até ter se inspirado e eu não sei, mas a princípio não. O que eu estou querendo dizer é que nessa mesma época em que a gente vive, discute-se questões sobre a utilização de dispositivos integrados ao homem e isso levou à representação disso na arte, que é o caso do desenho animado e levou à representação disso na tecnologia, que é o caso do óculos.

O professor, também, abordou em ambas as turmas a relação entre instrumentação e desenvolvimento científico e seu caráter não-linear e de empreendimento coletivo. Neste momento, foram feitas perguntas como "Perrin foi o primeiro a criar um modelo planetário?" e "Os cientistas eram conhecidos pela sociedade?" que permitiram um aprofundamento acerca da própria construção coletiva que é a ciência e trouxe à tona novamente o tema sobre como funciona uma rede científica, ou seja, como os cientistas interagem para produzir ciência.

No momento de exibição do vídeo de Charles Chaplin, usado pelo professor para falar do início do cinema mudo e sua relação (conforme capítulo 4) com a controvérsia discreto vs. contínuo, ambas as turmas se mostraram muito interessadas e fizeram silêncio absoluto e espontâneo. Ao falar de hereditariedade e De Vries, a identificação foi menor, mas surgiram conexões com os conteúdos de biologia.

Na fase final deste módulo, quando da abordagem sobre o surgimento do átomo quântico, alguns princípios da física quântica e suas relações com o contexto político-social e artístico da época, os alunos demonstraram interesse em alguns quadros e turma Y, em especial interveio bastante durante as explicações. Inicialmente sobre a I Guerra Mundial, fazendo relações entre a bomba atômica e Einstein (que na realidade se referia à II Guerra Mundial), depois surgem mais curiosidades sobre a vida de Einstein (como por exemplo, sobre a sua famosa foto com a língua para fora). A seguir, na discussão do slide em que havia um mosaico com os rostos de diversos cientistas que participaram do desenvolvimento inicial da física quântica, surgiu uma questão de gênero. Uma aluna da turma Y destacou: “não havia nenhuma mulher!”. O professor retrucou com o exemplo de Marie Curie, que é o mais emblemático de uma mulher nesta área da ciência, e destacou o papel da mulher naquela sociedade em que era negado a muitas delas o direito de entrar na Universidade, reflexo ainda de uma sociedade patriarcal que via a atividade científica como uma ocupação masculina. Em ambas as turmas, no quadro “Gala contemplando o mar mediterrâneo o qual, a vinte metros de distância, se torna o Retrato de Abraham Lincoln”, de Salvador Dalí (1976), os alunos se engajam bastante para tentar perceber o efeito do quadro. Na turma Y, em praticamente todos os quadros apresentados, os alunos se interessam em saber mais sobre o contexto em que o quadro foi produzido, sobre as relações dos quadros com os conceitos de física quântica. Inclusive, alguns alunos destacaram algumas relações dos quadros com outras obras da mesma época, de autores iguais ou não. Pôde-se notar que as pinturas funcionaram (além dos objetivos epistemológicos pretendidos com a inclusão do eixo cultural) como um fator motivador e facilitador da interação professor-aluno, em especial na turma Y.

A discussão final prevista era sobre os modelos e suas características. Esta discussão aconteceu de forma mais plena na turma X, pois na turma Y as outras questões que surgiram ao longo da aula tomaram muito mais tempo que o previsto, fazendo com que no final os alunos estivessem um pouco mais esgotados e ansiosos por faltar pouco tempo para serem liberados (a aula ocorreu nos dois últimos tempos nesta turma). Dessa forma, a discussão na turma Y sobre os modelos iniciou bem, mas ficou muito prejudicada a partir do terceiro tópico do *slide* (M3S34) em que esta

discussão era evidenciada. Em ambas as turmas, os alunos tinham conhecimentos razoáveis sobre o papel de modelos em ciências, provavelmente em virtude de já terem abordado estas questões tanto no 9º ano do ensino fundamental (os que eram alunos do CAp no ano anterior) quanto no 1º ano do ensino médio na disciplina de biologia, onde este tópico é tema logo das primeiras aulas, sobre filosofia da ciência.

De uma maneira geral, esta parte do módulo sobre modelo orbital, que foi estendido a pedido da coordenação de química do CAp UFRJ, acabou por consolidar as discussões a respeito da relação da ciência com o meio cultural, o papel dos modelos, entre outros tópicos epistemológicos que já vinham sendo discutidos ao longo do curso. Logo, em que pese o alongamento da sequência didática, implicando um pouco no obstáculo do tempo didático dedicado à abordagem, em ambas as turmas as discussões foram potencializadas e aprofundadas neste último módulo.

V.8 Atividade Final

Esta atividade foi construída pensando em dois objetivos: o primeiro, levantar dados sobre a efetividade da sequencia didática em fazer os alunos refletirem a respeito da construção da ciência. O segundo objetivo estava relacionado a uma questão prática demandada pelos alunos: a organização do conteúdo estudado até então com vistas a se preparar para a avaliação trimestral, que se aproximava. Com isso, montamos um roteiro (Apêndice 3), com sugestões do grupo de pesquisa, para orientá-los na construção da atividade (feita em grupos de 5 ou 6 alunos), que consistiu em duas etapas:

1. A construção de “*slides*”, isto é, pequenos resumos em papel A4 que consistiriam do resumo de cada aspecto do conteúdo abordado. No roteiro, referimo-nos claramente aos 3 eixos ou “temáticas”: cultural, científico e técnico. Nestes *slides*, que seriam construídos em casa, antes da aula em que foi consolidada a atividade, deveriam sempre constar de uma imagem e um texto brevemente explicativo a respeito da parte do conteúdo que estava sendo explicitada naquele “*slide*”. Deveria haver o total de 12 *slides* para cada grupo e não havia delimitação a respeito de quantos *slides* deveriam ser utilizados para cada eixo, de forma que eles deveriam escolher o número de *slides* que representariam aquela temática e quais os temas específicos que deveriam ser representados por aqueles *slides*.

2. O trabalho seria trazido por cada grupo e apresentado com a ajuda da mediação do professor. Em sala todos os grupos tomaram conhecimento do trabalho dos demais grupos, com vistas a escolherem alguns *slides* dentre todos aqueles trazidos para a sala. Os *slides* escolhidos foram usados para um panorama histórico da turma Y como um todo. O quadro negro foi dividido na horizontal nos três eixos que orientaram a construção do trabalho: científico, cultural e técnico. Houve um pequeno debate para escolher quais *slides* deveriam figurar no panorama histórico final. A aula durou 100 minutos.

Nesta seção, centraremos nossa análise no conteúdo dos *slides* construídos por cada grupo, através da ATD, buscando índices epistemológicos que tragam subsídios para responder nossa pergunta de pesquisa. Os resultados escritos poderão ser pontuados com detalhes a respeito da construção do panorama histórico em sala de aula (obtidos da análise dos vídeos e das notas de aula), como forma de fornecer mais detalhes sobre as ideias expressas pelos alunos no trabalho escrito.

Antes da análise, cabe destacar um imprevisto ocorrido com a turma Y. A atividade estava marcada para o último dia de aula antes da semana de provas, dia 17/04/2015. No entanto, em virtude de uma greve de funcionários da limpeza que já se estendia por quase duas semanas, a direção geral resolveu suspender as aulas neste dia para promover a limpeza das dependências da escola. Após isso, houve uma semana de feriados, a semana de provas e uma semana de atividades burocráticas relacionadas às provas (entrega de notas, correções de avaliação e vista de notas) e por este motivo a atividade da turma Y só pôde ser realizada no dia 16/05/2014, fato que certamente implicou negativamente na realização da atividade, que havia sido combinada como uma parte dos estudos para as provas.

O roteiro da Atividade Final (Apêndice 3) solicitava aos alunos que destacassem ideias dos três eixos na construção de seu resumo sobre a matéria. Por este motivo, ao analisar as produções escritas dos mesmos, utilizaremos categorias referentes a cada eixo, por meio das quais analisaremos a presença ou não de elementos a respeito de cada um deles, procurando ao final dar um significado e interpretação às produções dos alunos. Tendo sempre em vista que estas produções são a reconstrução da narrativa histórica pelos alunos, procuraremos entender através da análise dessa atividade quais as ênfases ou omissões, e que outros indícios podem

nos dar pistas sobre como os alunos relacionam os temas discutidos na sequência didática. As categorias elencadas foram:

Cat1. Representações do eixo cultural: em que medida os alunos representaram o eixo cultural em suas produções? Há predominância de algum aspecto em detrimento do outro?

Cat2. Representações do eixo técnico: em que medida o eixo técnico foi representado pelos alunos? De que forma este eixo foi articulado com o científico e com o cultural? Qual o papel atribuído ao eixo técnico pelos alunos?

Cat3. Representações do eixo científico: há predominância do eixo científico nas produções dos alunos, como observado na atividade 1? Os modelos de que personagens ou que temáticas foram escolhidas para figurar no trabalho?

A turma X foi constituída de 6 grupos, porém um dos grupos não entregou os *slides* impressos e outro grupo entregou o material incompleto (Grupo X5 entregou apenas 6 *slides* dos 12 solicitados). Os trabalhos dos grupos que entregaram a atividade foram codificados de X1 a X5, em referência à turma X. Já na turma Y, todos os seis grupos entregaram os *slides*, e serão codificados de Y1 a Y6.

Resultados da aplicação na turma X

Cat1. Representações do eixo cultural

Nessa turma, pôde-se observar no eixo cultural uma predominância das biografias dos cientistas criadores ou relacionados com cada modelo estudado em dois dos grupos (X2 e X4). Esses grupos organizaram o material de forma bastante linear, trazendo o contexto pessoal de cada cientista e o seu respectivo modelo a seguir, utilizando recorrentemente fotos dos cientistas (um indício bastante icônico da ideia de cientista como personagem isolado). O grupo X5 não incluiu informações sobre as questões culturais. Os outros dois grupos (X1 e X3), na parte dedicada às questões culturais, incluíram tópicos sobre a arte, sobre política (este tópico teve destaque especial no grupo X1) e sobre a própria ciência que servissem de contextualização ao momento em que as teorias estavam se estabelecendo no meio científico. No grupo X1 em específico, formado exclusivamente por meninas, a organização dos *slides*

ocorreu de forma que alguns deles possuíam ao mesmo tempo informações sobre mais de um dos eixos.

Dos grupos que optaram por dar maior ênfase nas biografias, ambos incluíram um *slide* sobre a Hereditariedade e De Vries. O grupo X2 incluiu um esquema utilizado em sala sobre o experimento com ervilhas e o grupo X4 incluiu uma foto de De Vries ao lado de uma foto de Bohr. O grupo X1 trouxe muitas questões a respeito do eixo cultural, algumas novas, inclusive, como a revolução russa, questões a respeito de costumes da época (usar chapéu, por exemplo), e alguns fatos da ciência e da tecnologia da época, para além do atomismo.



Fig V.12: *Slide* sobre costumes da época - X1.1

Esse grupo manifestou que entender o contexto amplo pode ajudar a compreender a construção da ciência, como ilustra a afirmação presente em um *slide* intitulado “A arte no século XIX” e continha uma imagem impressionista (Doze Girassóis Numa Jarra, Van Gogh, 1888) e uma imagem realista (The sleeping embroiderer, Gustave Courbet, 1853).

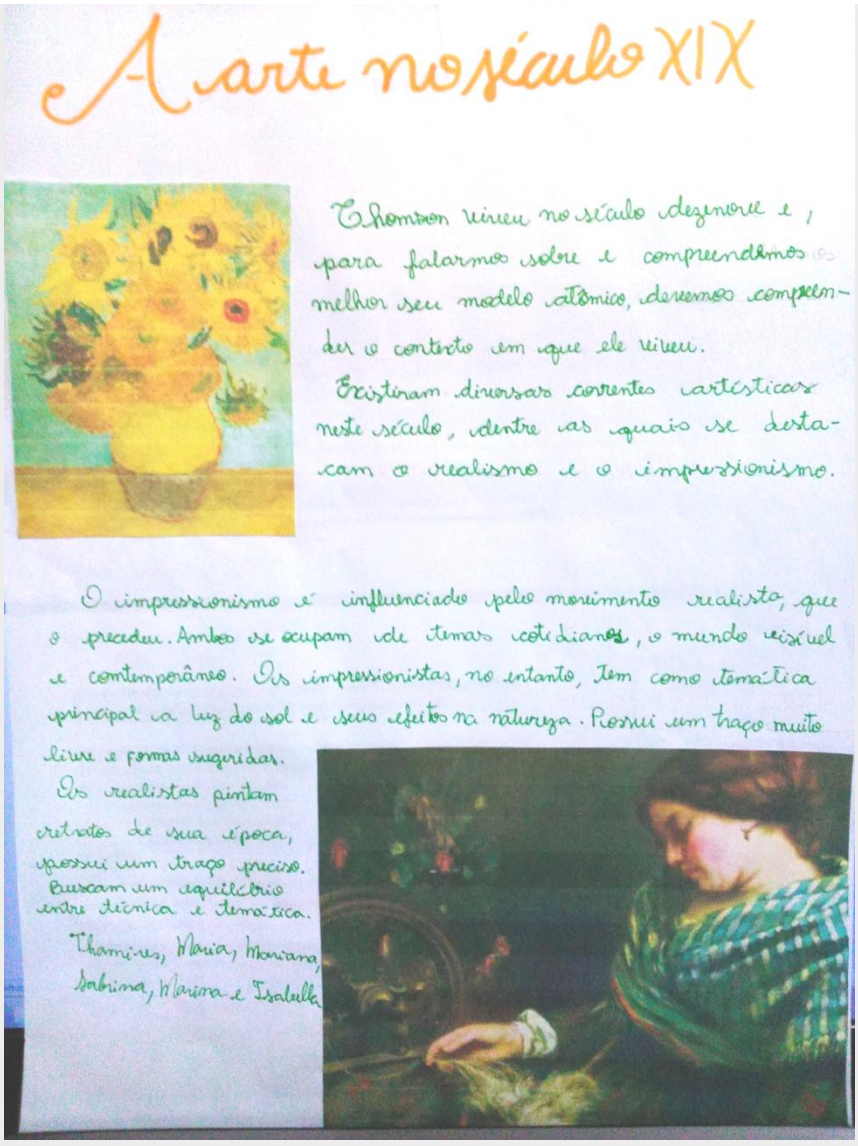


Fig. V.13: "Thomson viveu no século dezenove e, para falarmos sobre e compreendermos melhor seu modelo atômico, devemos compreender o contexto em que ele viveu." X1.2

> "No século XX, foram inventadas e descobertas coisas importantes como:
> - Penicilina (1928): Médico Alexander Fleming descobriu o antibiótico natural, o que resultou em muitas contribuições para a sociedade.
> - Tecnologia como filme, rádio e televisão.
> - Teoria da relatividade; e mecânica quântica.
> - Primeiros transplantes de órgãos" X1.3

Esses destaques aparecem em um *slide* dividindo espaço com o modelo de Rutherford e um representando este modelo. No grupo X2, foi possível observar uma relação do eixo cultural com o desenvolvimento de técnicas:

> "[..] Concorrente dessa nova forma de capturar a imagem, o movimento realista estava vivenciando uma disputa injusta, pois enquanto uma máquina capturava uma imagem em apenas alguns segundos, um pintor demorava horas para capturar essa mesma imagem. Portanto, os pintores, para não perderem espaço no meio da arte, migraram para outro movimento artístico: o impressionismo. Logo, o movimento realista perdeu muita força, mas não sumiu totalmente." X2.1
> "[...] - Como o nome fala, a pintura [pontilhista] é formada por centenas de milhares de pontos, causando para o observador um efeito contínuo.
> - Essa técnica influenciou muito na impressão de jornais e revistas, até hoje essa técnica é utilizada" (grifo nosso) X2.2

No grupo X4, além das biografias, chama atenção a construção de uma relação direta entre o modelo de Rutherford e a construção da bomba atômica:

> "[...] Muitas coisas foram descobertas e revelaram aspectos inesperados em relação ao núcleo do átomo que foram importantes para o desenvolvimento de uma nova arma. Com essas descobertas os cientistas conseguiram criar a bomba nuclear, usada por exemplo na cidade de Nagasaki no final da Segunda Guerra Mundial" X4.1

Pode-se afirmar que dos grupos que representaram em algum nível o eixo cultural, dois deles concentraram-se em biografias e outros dois procuraram representar o contexto cultural mais amplo, muito embora alguns trechos manifestem a busca por influências diretas, como destacado no trecho X2.2.

Cat2. Representações do eixo técnico

Todos os grupos representaram ao menos um experimento ou aparato técnico relacionado ao desenvolvimento dos modelos atômicos. O que esteve presente em todos os grupos foi o experimento do espalhamento de partículas alfa, por dois grupos (X2 e X3) chamado de experimento de Geiger e Marsden, em referência aos alunos de Rutherford que executaram o experimento. Essa referência pode indicar uma não personificação de Rutherford e, assim, apontar compreensão por parte dos alunos da ciência como produto do esforço de múltiplos atores. Além deste experimento, foram lembrados os experimentos de Thomson em tubos de raios catódicos (X1, X2, X3) e o bico de Bunsen (X1). Os grupos trazem ainda a citação de outros aparatos e questões

concernentes ao eixo técnico, como a descoberta dos raios X (X1 e X3) e desenvolvimento técnico do espectroscópio (X1).

A respeito do papel epistemológico dos experimentos e das técnicas em geral, a visão manifestada nos textos dos *slides* construídos pelos alunos indica de certa forma uma postura bastante empirista. Mesmo nos grupos que optaram por falar sobre mais de um modelo atômico planetário, manteve-se, de uma maneira geral, a relação direta e exclusiva do experimento da folha de ouro com o modelo de Rutherford; ou seja, uma relação de consequência direta que desconsidera o contexto. Alguns exemplos dessa visão manifestada seguem abaixo:

> "Nascido na Nova Zelândia, Ernest Rutherford criou um modelo atômico com base no seu experimento com radioatividade em 1911" X1.4
> "O cientista percebeu que: algumas partículas [...] atravessavam a fina camada de ouro. Mas só muito tempo depois Rutherford desvendou os resultados: ele constatou que as partículas [...]" (grifo nosso) X1.5
> "Foi através dos resultados deste experimento que Rutherford propõe um novo modelo atômico. [...]" X2.3
> "[...] Logo, esse experimento foi muito importante para a evolução dos modelos atômicos, pois demonstrou que os átomos não eram indivisíveis e comprovou a existência de uma partícula subatômica, chamada de elétron." (grifo nosso) X3.1

Em contraposição a esta tendência, um dos grupos colocou o experimento da folha de ouro como um fator que problematizou o modelo que ainda era hegemônico na época, mas sem explicitar a relação entre a criação do modelo de Rutherford e os diversos modelos planetários que já estavam em discussão no período:

> "O resultado desse experimento contradiz a teoria atômica aceita na época, colocando este (o modelo de Thomson) em dúvida, além de acabar constituindo um novo modelo atômico" X5.1

Observe-se que não há problemas em afirmar que a construção de uma teoria se apoia em conclusões experimentais. A questão que queremos chamar atenção é que os elementos destacados pelos alunos parece relacionar a construção de teorias exclusivamente a dados empíricos, na ausência de fatores extraexperimentais, apontam para uma visão empirista ingênua, o que fica mais evidente em sentenças como X1.5 e X3.1.

Por outro lado, um trunfo da abordagem a partir dos três eixos, que é a promoção da reflexão a respeito da dialogicidade entre a empiria de cunho mais objetivista e os fatores sociais e culturais, não aparece nas produções dos alunos como um fator relevante. Os fatores culturais foram colocados pelos alunos muito mais como um pano de fundo da construção de teorias científicas, que se desenvolvem de forma independente deste cenário, uma vez que as relações não são explicitadas. No entanto, parece ter ficado claro para eles a relação entre os resultados dos experimentos e as consequências da interpretação desses resultados na criação dos modelos atômicos.

Cat3. Representação do eixo científico

A respeito dos modelos atômicos escolhidos pelos alunos para figurar em seus resumos, três dos grupos escolheram incluir apenas os modelos de Thomson, Rutherford e Bohr, que são os cientistas que já figuram nos livros didáticos. Um dos grupos (X4) incluiu além desses o de Nagaoka e o outro falou sobre todos os personagens abordados (X1). As justificativas sobre as seleções feitas pelos grupos foram variadas: um justificou com base na suposta ênfase dada em sala aos três primeiros. Outro grupo ressaltou que este eram os principais e outro disse que esta escolha foi combinada entre alguns grupos, uma vez que não havia orientação sobre a inclusão de todos os personagens no resumo.

Sobre estes argumentos, a ênfase não pôde ser observada através do tempo dedicado a abordagem de cada modelo. Todos os modelos levaram aproximadamente o mesmo tempo de abordagem (cerca de 50 minutos, o que ser observado na tabela 2 e na análise dos vídeos), incluindo Nagaoka, Perrin e Nicholson. O argumento de que os três escolhidos seriam os principais pressupõe ou a ênfase em determinados modelos em detrimento de outros no momento da exposição do professor ou um parâmetro anterior que possa servir de subsídio para esse julgamento. No caso dos alunos que já eram do CAp, no 9º ano do ensino fundamental foram abordados os modelos de Dalton, Thomson e Rutherford. Além disso, o livro didático também traz além destes três, o modelo de Bohr. Por esse motivo, pode ser que na ausência de um material didático fornecido pelo professor para dar suporte à abordagem diferenciada, os alunos podem ter buscado esse suporte no livro didático e mesmo em memórias sobre o que havia sido estudado no ano anterior. Por último, o comportamento de combinar entre si os modelos que os grupos deveriam privilegiar pode ter tido origem

no fato de a atividade ter sido informada como atividade avaliativa. Dessa forma, eles podem ter procurado um parâmetro para desenvolver o trabalho “mais correto”.

Nos *slides*, pôde-se observar que mesmo para modelos em que não foi apresentada nenhuma imagem que os representassem (exemplos: modelos de Nicholson e Perrin e Nagaoka, representados pelo grupo X1), os alunos buscaram alguma imagem que o pudesse representar. No caso destes modelos, o professor optou por construir no quadro uma representação visual a partir da descrição de cada modelo e por isso nos *slides* não havia uma imagem associada aos modelos. No entanto, os alunos buscaram imagens que por vezes não se adequavam ao verdadeiro conteúdo do modelo em questão.

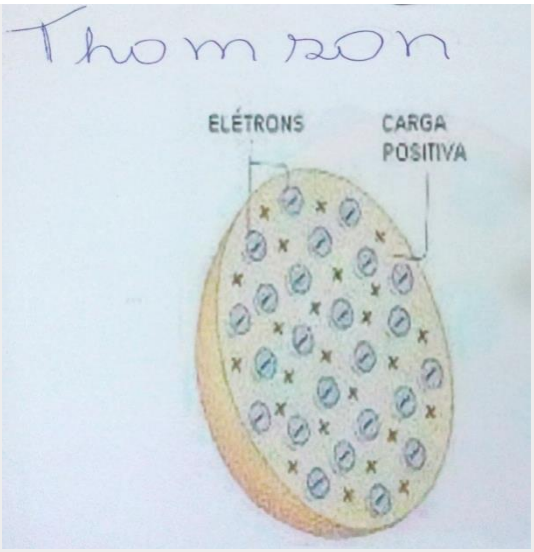


Fig. V.14: Imagem do átomo de Thomson em que não é considerada a estutura interna. X5.2

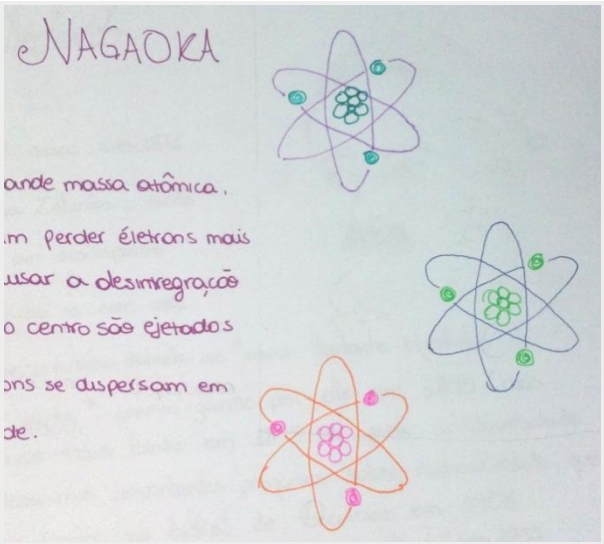


Fig. V.15: Átomo de Nagaoka em que o núcleo é constituído de partículas subatômicas X4.2



Fig. V.16: Imagem para o átomo de Thomson em que a analogia imprópria é reforçada (inclusive no texto que acompanha esta imagem). X3.2

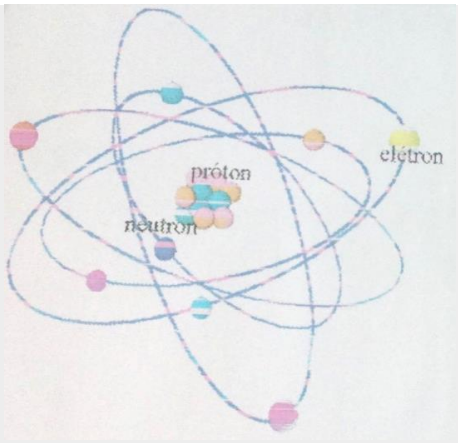


Fig. V.17: Imagem para o átomo de Nicholson, que na verdade é uma representação didática do átomo planetário. X1.6

Esse resultado pode ser simplesmente o reflexo da necessidade imposta pelo enunciado do exercício, que solicitava a inclusão de ao menos uma imagem em cada *slide* que devia guardar relação com o texto escrito. Por outro lado, este resultado pode indicar uma necessidade grande de representação visual para cada modelo. A segunda hipótese nos parece razoável na medida em que durante as semanas de estudo para prova o professor foi interpelado por um aluno através de uma rede social indagando-o a respeito de um material que ele havia achado na internet para estudo (*slides* de uma palestra do professor Roberto de Andrade Martins):

> "Nesse link que eu achei professor, ta bom que seja de uma palestra, mas ele apresenta de um jeito melhor de se entender os modelos atômicos de thomson, nicholson, nagaoka, e perrin através de imagens", "mas as imagens retratam como seriam os modelos atômicos de cada um para entendimento melhor da matéria" – escrita de um aluno da turma X em uma rede social.

Do ponto de vista da explicação dos modelos científicos, elas estiveram em um grau de coerência bastante grande com o estudado e em parte faziam relações com outros modelos, explicitando por vezes a dinâmica interna da ciência ou os limites de cada modelo, porém sem relacionar a ciência com o contexto amplo.

No entanto, alguns problemas conceituais que foram abordados em sala ainda persistiram nas produções dos alunos, como a redução do modelo de Thomson à analogia com o pudim de passas a exemplo do que foi apontado por Lopes e Martins (2009), conforme texto que acompanhava a imagem X3.2:

> "O modelo atômico de Thomson fala que dentro de uma massa homogênea positiva existem elétrons, como se fosse um "pudim de passas" (os elétrons ficam mergulhados dentro do núcleo do átomo que tinha carga positiva) [...] X3.3

Resultados da aplicação na turma Y

Cat1. Representações do eixo cultural

Nessa turma, podemos observar que houve um maior equilíbrio entre os grupos que optaram pela inclusão de aspectos culturais mais amplos e grupos que consideraram apenas as biografias dos cientistas. Dos seis grupos, dois (Y4 e Y5) não incluíram nenhum fator cultural em seus resumos. Entre os demais grupos, dois

enfatizaram as biografias dos cientistas e os outros dois enfatizaram os entornos culturais em que a ciência se desenvolveu. O que ficou claro também nos dois grupos que enfatizaram o eixo cultural é que ambos procuraram colocar questões de cunho mais epistemológico em seus *slides*. Abaixo alguns exemplos:

"Desde sempre modelos sobre o que vimos e o que não vimos são citados. Eles servem para facilitar a compreensão sobre um assunto, para comprovar ideias sobre este assunto ou apenas para enfeitar a sala de estar de uma casa." Y3.1



Fig. V.18: Slide em que aparece o trecho Y3.1

"O contexto em que alguém vive determina o rumo que suas experiências, trabalhos e até ideias, irão tomar. Desde o desenvolvimento da tecnologia da época até a vida pessoal do pesquisador interferirão em suas descobertas e em seus objetivos.

O contexto histórico principalmente ajuda a entendermos os pesquisadores e porque de seus modelos e experiências." Y3.2

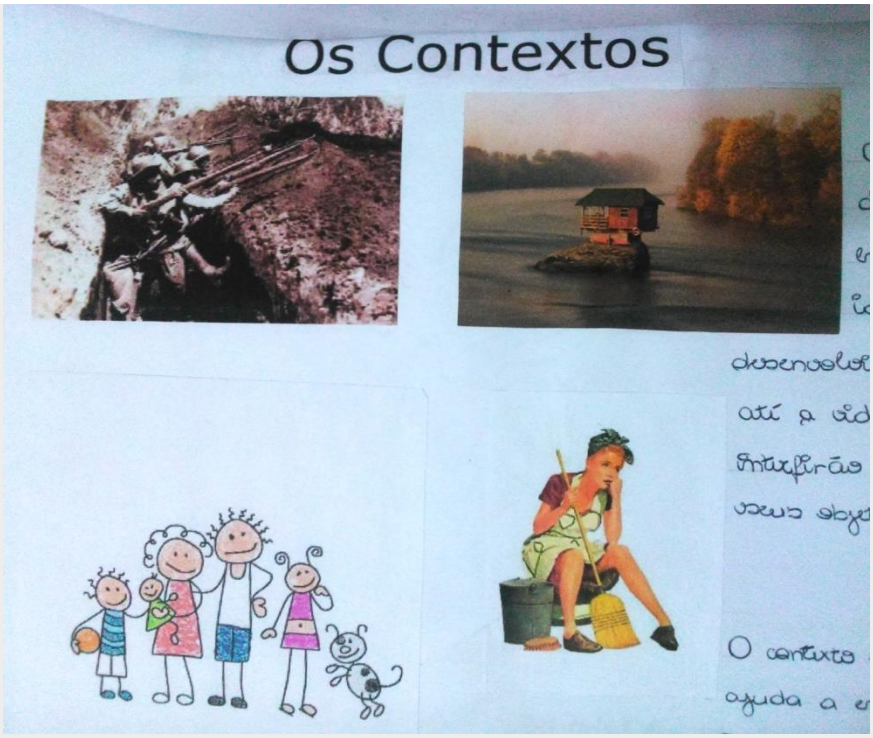


Fig. V.19: Slide em que aparece o trecho Y3.2

“Evolução? – Há quem diga que os modelos atômicos evoluem (foto 1), logo, o modelo de Leucipo e Demócrito não seria tão válido quanto o de Thompson ou Rutherford. Mas há também quem acredite que por não sabermos a verdade, nunca termos visto um átomo, os modelos estarão se complementando, se modificando e talvez fugindo cada vez mais da verdade (foto 2).

Mas enquanto a verdade não existe, as ideias criam o mundo junto com seus pensadores, modelos e experiências” Y3.3



Fig. V.20: Slide em que aparece o trecho Y3.3

“- A cultura e a ciência se influenciam.

- Alteram o modo de pensar dos seres humanos

- Mudando o foco das dúvidas, dessa forma, alteram o foco das pesquisas feitas pelos pesquisadores” Y1.1

Os trechos Y3.1, Y3.2, Y3.3 são entendidos melhor se analisados em conjunto com as imagens do *slide* onde figuram. O *slide* onde está presente a afirmação Y1.1 não possui qualquer imagem, contrariando a orientação dada pelo roteiro.

Notamos em Y1.1 e Y3.2 uma discussão clara sobre a relação do contexto sociocultural na produção científica de uma forma um pouco mais sofisticada que na fase exploratória da pesquisa. Ao levantar que entender o contexto histórico representa saber o "porque de seus modelos e experiências" (Y3.2), o grupo está assumindo uma ideia de que todo modelo ou experimento é historicamente localizado, isto é, procura responder a questões de seu tempo. Nas imagens escolhidas, surgem questões como a guerra, a família e uma pin-up (um símbolo do movimento feminista) com uma vassoura. Todos esses temas foram abordados em maior ou menor grau em sala de aula: a Primeira Guerra Mundial e a mulher na ciência, ambos os temas surgidos quando foi abordado o modelo orbital. A imagem da família, aludindo a uma ideia mais biográfica, esteve presente ao longo de toda a SD.

Ao lado disso, afirmar que a "a cultura e a ciência se influenciam / alteram o modo de pensar do ser humano / mudando o foco das dúvidas [...]" (Y1.1) manifesta um entendimento coerente a respeito do papel do meio social no desenvolvimento da ciência. O diálogo entre a ciência e a cultura promove mudanças no modo de pensar do homem, e eventualmente muda o foco das dúvidas, gerando novos problemas a serem respondidos. Mudanças de concepções podem não ser absolutamente internas ao meio científico, mas sim representar uma mudança de visão na sociedade de uma forma mais ampla.

Outras questões epistemológicas além do contexto também surgiram, como nos mostram os trechos Y3.1 e Y3.3, onde o papel dos modelos científicos é discutido, bem como a sua suposta evolução, dentro do espírito da discussão da fase exploratória, que foi retomada ao longo da sequência didática. Os modelos são representados em Y3.1 como representações de algo concreto (no caso da maquete e dos bonecos em miniatura) ou como construções a partir de elaborações mentais (representação do neurônio e a outra imagem). O seu sentido progressivo é questionado em Y3.3, onde se faz uma discussão em caráter mais geral acerca deste tema.

A arte apareceu de forma bastante forte no grupo Y1, mas, também, houve referências nos grupos Y3, Y2 e Y6. Neste último grupo, há dois *slides* sobre o realismo que não estão bem articulados entre si – ambos falam do realismo como movimento artístico e literário de uma forma geral. O primeiro traz pinturas de Julien

Dupré e Jean-François Millet (Y6.1) e o segundo, um quadro de Gustave Courbet. Sem deixar clara a oposição entre o realismo e o pontilhismo, há um *slide* que traz a definição do pontilhismo ao lado de uma imagem do personagem ficcional “Harry Potter” formado por pequenos pontos (Y6.2), em referência à técnica explorada no texto. Além disso, há também um *slide* tratando sobre a Primeira Guerra Mundial (Y6.3) de um ponto de vista mais histórico e sem relacionar muito com os modelos que se seguiram à guerra e suas consequências, conforme explorado em sala. Algo exclusivo desse grupo é o *slide* sobre a técnica de impressão *halftone* (Y6.4), que traz a mesma imagem utilizada nos *slides* do professor e uma definição da técnica ao lado da imagem.

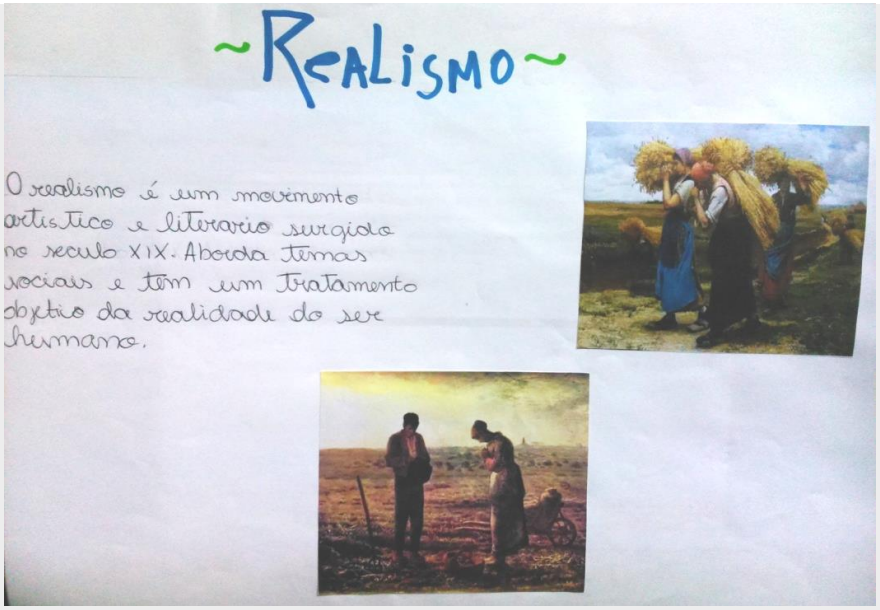


Fig. V.21: Um dos *slides* sobre realismo – Y6.1

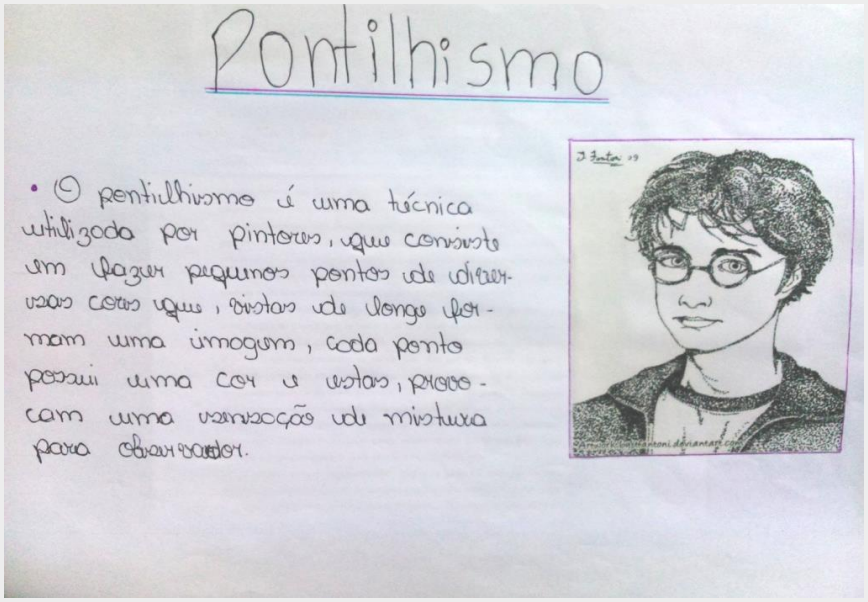


Fig. V.22: Harry Potter em versão pontilhista – Y6.2

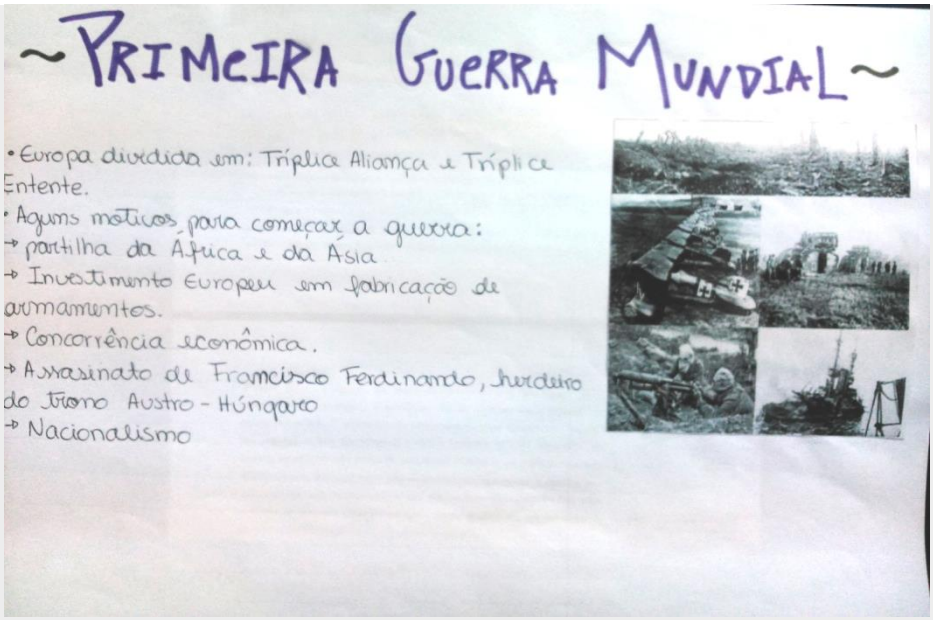


Fig. V.23: Primeira Guerra Mundial – Y6.3

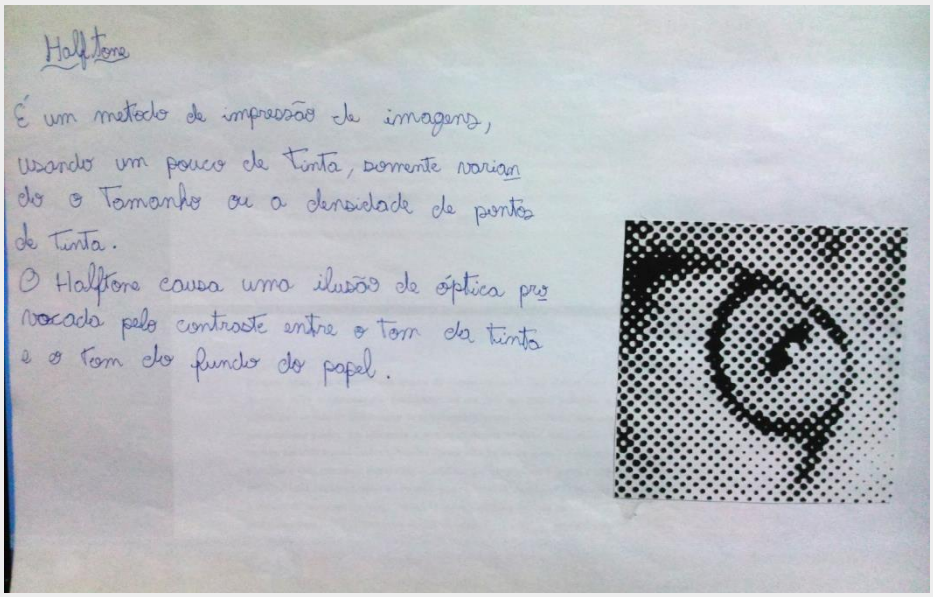


Fig. V.24: Técnica *Halftone* – Y6.4

No grupo Y2, há apenas um *slide* dedicado à questão da arte, explicando a oposição entre realismo e impressionismo, com quadros de Jean-François Millet e uma pintura cuja autoria não foi possível identificar. No grupo de pesquisa, o professor destacou seu incomodo em relação ao fato de que poucas referências eram feitas ao contexto cultural. Em função dessa discussão, o professor perguntou aos alunos do grupo Y2 porque eles optaram por referenciar pouco o contexto cultural amplo. Diante desse questionamento, uma aluna do grupo respondeu que priorizou as biografias, pois, para eles, os detalhes da vida dos artistas estariam relacionados mais diretamente com as suas produções do que o contexto cultural mais amplo. Esta visão

parece apontar para a busca pelos alunos de uma relação imediata entre o cientista e o seu entorno, o que pode também explicar a prioridade atribuída por eles às biografias.

No grupo Y1, houve 2 *slides* (cada um com duas pinturas pontilhistas) dedicados à explicação do pontilhismo, inclusive com uma parte da explicação falando sobre Michel Chevreul, um químico envolvido com o desenvolvimento do conhecimento sobre as cores complementares no século XIX, algo que não houvera sido muito explorado em sala. Em um terceiro *slide*, o grupo explorou as principais definições dos movimentos artísticos da virada do século XIX para o XX. No grupo Y3, houve um *slide* em que os alunos aplicaram um efeito sobre a foto de Thomson, de modo que ela tivesse a aparência de uma pintura pontilhista. Neste *slide* (Y3.4), foram feitos comentários tanto sobre a biografia de Thomson quanto sobre o próprio pontilhismo. Foi a única inserção das questões artísticas neste grupo.

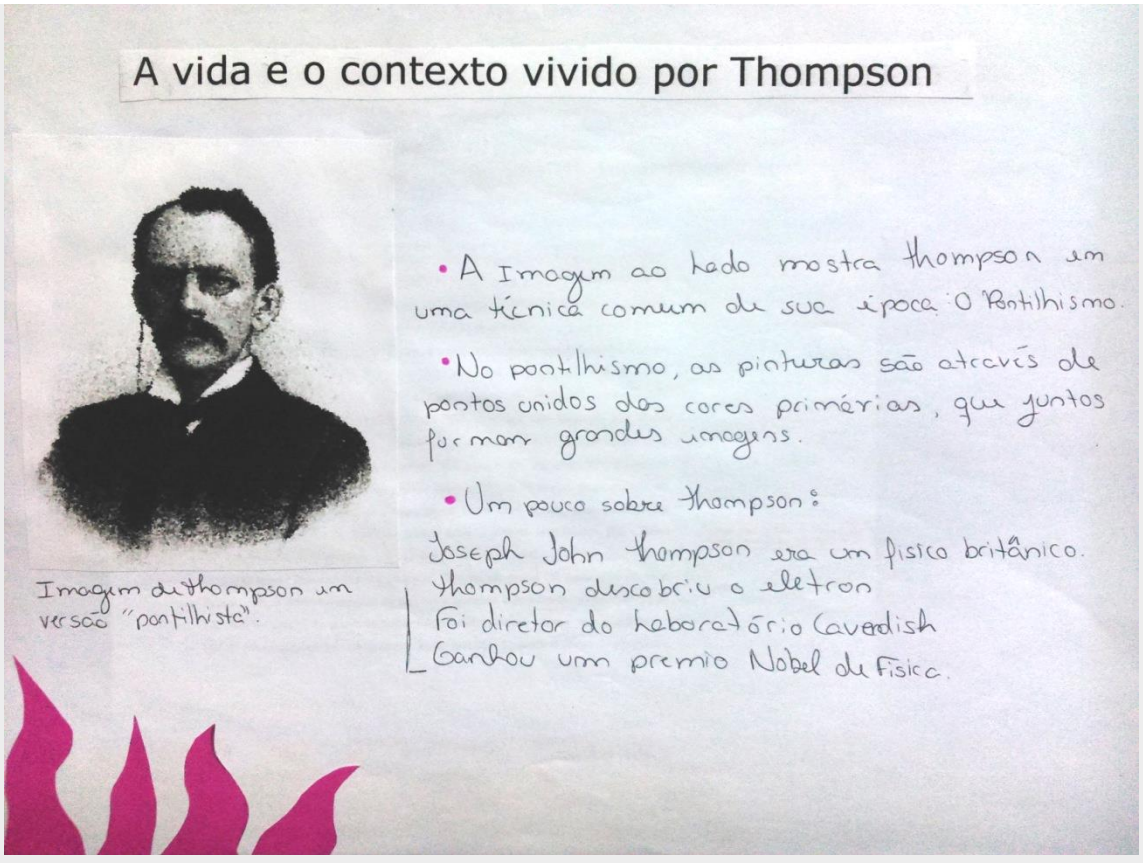


Fig. V.25: Thomson + Pontilhismo – Y3.4

O tema “Primeira Guerra Mundial” figurou no grupo Y6, onde não foi feita ligação com o desenvolvimento da mecânica quântica e do modelo orbital e no grupo Y1 onde os alunos do grupo tentaram forçosamente incluir o tema “armas químicas”

(Y1.2) para relacioná-lo com química. Essas questões levaram o grupo de pesquisa a considerar que a relação entre a Primeira Guerra e o desenvolvimento da mecânica quântica não tenha ficado claro.

> "A Primeira Guerra Mundial (1914 – 1918) foi marcada pela entrada da química nos campos de batalha através das armas químicas, desenvolvidas pelo químico alemão Fritz Harber que recebeu o prêmio Nobel por descobrir a síntese do amoníaco, do nitrogênio e do hidrogênio" Y1.2

A respeito das biografias, que estiveram presentes em três dos grupos (exceto nos grupos Y6 e Y1, em que elas não apareceram e no grupo Y3, em que não foi dado destaque às biografias), houve uma tendência parecida com a destacada na análise da turma X: uma reconstrução que podemos classificar como linear, em que a biografia se alterna com os modelos, sem reconstruir verdadeiramente o contexto, mas focando nos cientistas. Um forte indício disso foi o uso, como na turma X, de imagens dos cientistas, reforçando o caráter icônico-biográfico. Em dois grupos (Y2 e Y5), os alunos incluíram uma foto para o *slide* em que era tratada a biografia de John William Nicholson, apesar de em aula ele ter sido o único cientista para o qual não havia foto (em fonte bibliográfica fiável). Ambos grupos atribuíram uma foto de outro importante químico que viveu na virada do século XVIII para o XIX (William Nicholson, 1753 – 1815) como se fosse de J. W. Nicholson (Y5.1).

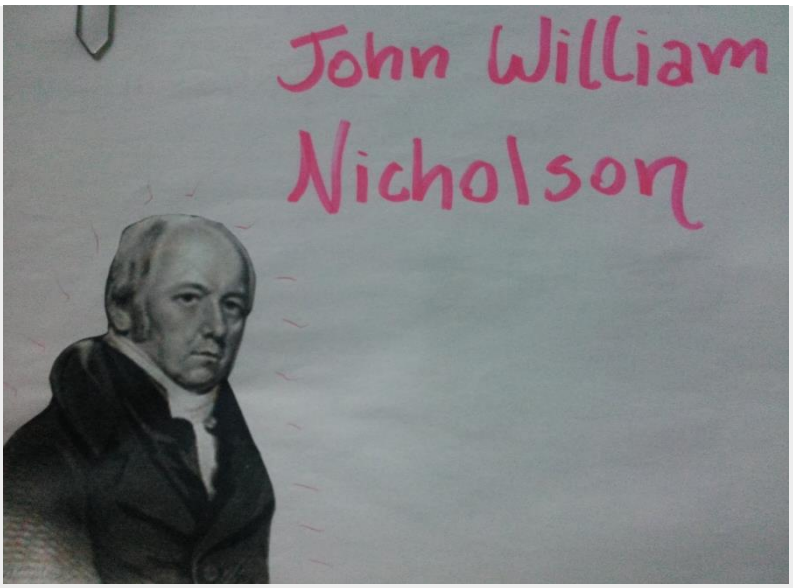


Fig. V.26: *Slide* ilustrativo precedente à biografia de John Nicholson – Y5.1

Ao mesmo tempo que essa necessidade de inclusão de fotos de cientistas é sintomática de uma narrativa histórica focada em personagens para estes alunos, vale notar que três dos grupos não deram ênfase ou sequer incluíram as biografias dos cientistas, em favor do contexto cultural amplo e da discussão direta de questões epistemológicas. Logo, podemos apontar que a abordagem construída serviu à problematização da narrativa histórica tradicionalmente linear presente nos livros didáticos. A diferenciação entre as abordagens promovidas pelos grupos indica que a sequência didática trouxe ao debate da sala de aula diferentes posicionamentos, o que mostra que a discussão histórica pretendida não se construiu de elementos hegemônicos. Neste sentido, a avaliação da aplicação da SD é positiva, considerando que o objetivo da sequência didática não era modificar posicionamentos dos alunos, mas sim colocar questões que os levassem a refletir sobre o tema tratado em sala e, assim, construir subsídios para a construção de uma reflexão mais complexa sobre os temas tratados em sala.

Outra questão a ser destacada é que não defendemos o abandono de discussões sobre detalhes da biografia dos cientistas em favor de uma história da ciência em que se leve em consideração apenas o contexto amplo; o ideal é um equilíbrio entre estas duas opções. Porém, a existência de grupos que trouxeram à sua reconstrução, de maneira bastante forte, o contexto aponta para o sucesso da estratégia construída, no que diz respeito a incluí-lo como um fator relevante para o desenvolvimento científico.

Cat2. Representações do eixo técnico

De todos os grupos, apenas um não incluiu informações sobre nenhum experimento (Y5) ou aparato técnico relacionado ao desenvolvimento dos modelos atômicos. Dos demais grupos, todos destacaram o experimento com tubos de Crookes, e desse conjunto apenas o grupo Y6 não citou o experimento da folha de ouro. A respeito dos experimentos com tubos de Crookes elaborados por Thomson, alguns *slides* são meramente descritivos, isto é, apenas trazem detalhes sobre a montagem do aparato técnico, sem explorar os resultados e conclusões do experimento. Nos textos onde é possível observar uma apresentação menos descritiva, a ideia manifestada acerca da experimentação pode ser classificada de ingênua, conforme excertos a seguir. Alguns exemplos da ideia de experimento como “descoberta da natureza” ou como meio para fazer algo previamente decidido,

portanto, com a redução da importância da dúvida em ciência, são apresentados nas sentenças Y1.3/Y3.5 e Y2.1 respectivamente.

> “O tubo foi usado para possibilitar a descoberta de elétrons em gases” Y1.3
> “Decidido a elaborar um modelo atômico novo, Thomson realizou o experimento conhecido como ‘a natureza dos raios catódicos’” Y2.1
> “A descoberta dos elétrons se deu pois quando se aproximava um objeto de carga positiva do feixe de luz, a luz se aproximava do objeto, chegando à conclusão de que haveria algo com carga negativa nos raios.” Y3.5

Nos *slides* sobre o experimento de Rutherford que não se resumiam a simplesmente descrevê-lo, pôde-se observar uma visão de experimento como prova da composição dos átomos, como ilustram os exemplos de Y1.4 e Y2.2:

> “Objetivo do experimento: provas que os átomos não são maciços, como afirma a teoria de Dalton” Y1.4
> “O experimento pôde mostrar que os átomos da folha de ouro possuíam grandes espaços vazios [...], além de mostrar que o núcleo é bem menor em relação ao tamanho total do átomo”. Y2.2

No entanto, um grupo manifestou uma visão diferente dos demais, conforme segue abaixo o exemplo:

> “Algumas se desviaram e uma parte mínima foi refletida. Com isso, Rutherford concluiu, por meio de postulados, que todo átomo possui uma eletrosfera ao redor de um núcleo [...]” Y3.6

Por último, vale ressaltar que o grupo Y3 incluiu também o espectroscópio entre os aparatos do eixo técnico. Importante destacar que em todas as representações do eixo técnico, não foi possível observar a técnica como um parâmetro de objetividade da ciência em contraposição à influência do contexto cultural.

Cat3. Representações do eixo científico

Ao contrário do que se observou na turma X, nesta turma os trabalhos refletiram bastante a pluralidade de cientistas abordados durante a sequencia didática.

Nenhum dos grupos se restringiu aos atomistas tradicionalmente abordados. Sempre houve a inclusão de pelo menos um dos personagens “esquecidos”. Por outro lado, alguns grupos abordaram todos os cientistas do período, havendo ainda na maioria dos casos uma seleção a respeito do que deveria constar em seus resumos.

Um detalhe que salta aos olhos logo em uma primeira análise é que dois grupos (Y1 e Y3) optaram por incluir um *slide* para falar dos modelos planetários de uma forma geral, em vez de fazer *slides* sobre cada um dos modelos planetários.

> “Modelos Orbitais: Jean Perrin, H. Nagaoka, J. J. Thomson, J. W. Nicholson Alguns cientistas propuseram modelos atômicos que apesar de possuírem diferenças em alguns aspectos sugerem a mesma ideia: o átomo era constituído de uma esfera no centro e anéis ao seu redor.” Y1.5
>
> “Modelos Planetários
> - O modelo atômico planetário foi o modelo aceito por muitos pesquisadores durante um longo período de tempo.
> - Hamtaro Nagaoka, Rutherford, Nicholson, Perrin são exemplos de pesquisadores que acreditavam neste modelo, que o formularam e aperfeiçoaram.” Y3.7

Apesar do erro cometido pelo grupo Y1 ao incluir Thomson no grupo de modelos planetários, percebe-se no texto que esses alunos consideraram importante destacar diversos pesquisadores utilizando ideias parecidas em um determinado período de tempo, desassociando a ideia imediata cientista → modelo, recorrente nos livros didáticos. Embora a expressão dessa ideia na construção do *slide* seja razoavelmente clara, não podemos afirmar categoricamente que o aluno compreendeu a ciência como um empreendimento coletivo, muito embora este seja um indício bastante favorável a este entendimento.

Dos três personagens novos introduzidos, Nagaoka foi o que apareceu mais vezes na produção: ele esteve presente nos *slides* de todos os grupos da turma Y. A seguir, Perrin, que esteve presente nas produções de 4 grupos e o que menos apareceu foi Nicholson, em 3 grupos. É difícil levantar hipóteses que justifiquem essa preferência ao Nagaoka em detrimento dos outros, visto que foram dedicados tempos parecidos a cada um desses modelos. Alguns fatores que podem ter influenciado nessa escolha: uma maior fluidez e participação na aula sobre Nagaoka do que na aula sobre Nicholson e Perrin, conforme pode ser observado no relato da aplicação do módulo 2; a inexistência de uma imagem pessoal de Nicholson, já que sempre era apresentada uma imagem do cientista junto à biografia; ou ainda a fraca explicitação

por parte do professor do papel do Nicholson na narrativa construída. Todos estes fatores podem ter contribuído assim como nenhum deles.

Outro dado que se pôde observar foi a tendência na turma Y, como na turma X, de sempre incluir uma imagem remetendo ao modelo atômico em questão. Alguns exemplos:



Fig. V.27: Representação do átomo de Jean Perrin. – Y2.3

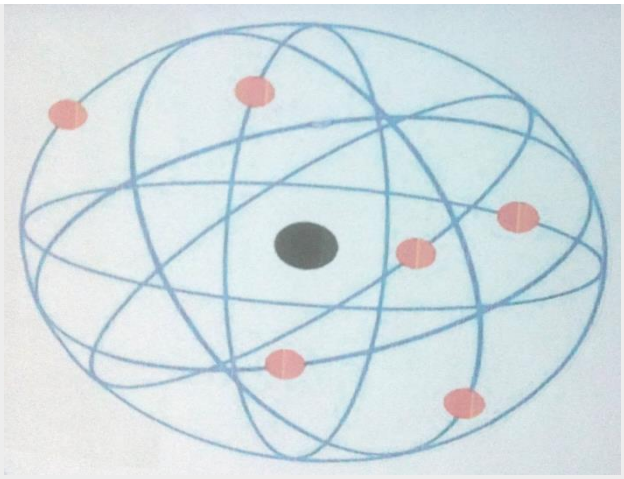


Fig. V.28: Átomo de Schrödinger – Y4.1

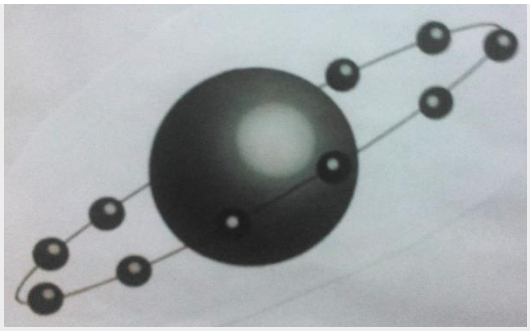


Fig. V.29: Modelo saturniano para o átomo (Nagaoka) – Y6.5

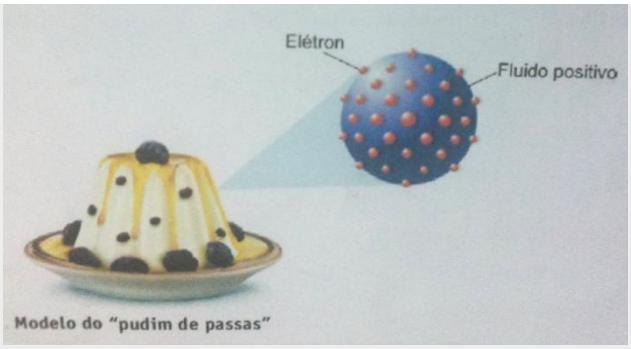


Fig. V.30: Modelo de Thomson com analogia explícita – Y3.8

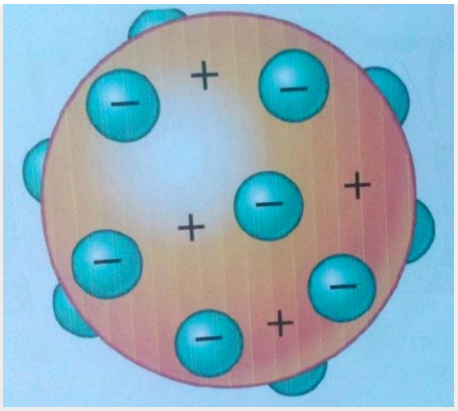


Fig. V.31: Modelo de Thomson – Y4.2

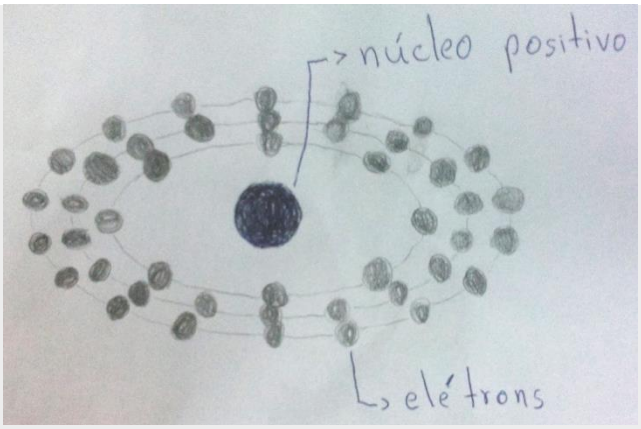


Fig. V.32 Átomo de Nicholson – Y2.4

A presença da analogia de Thomson com o pudim de passas permanece (exemplo em Y3.8, mas aparece em todos os trabalhos a expressão “pudim de passas”). Vale ressaltar, no entanto, que em nenhum dos trabalhos foram transpostas características da sobremesa para o modelo, conforme notado em outra ocasião por Lopes e Martins (2009). A expressão “pudim de passas” foi muito utilizada como uma forma de se referir à maneira como o modelo era mais conhecido e não como um meio de explicar o modelo em si. Ou seja, para esta turma, a abordagem histórico-filosófica parece ter favorecido a melhor apropriação do modelo proposto por Thomson.

Para o átomo de Schrödinger, se observa uma imagem que não condiz com a noção de orbital deste modelo, que representaria uma densidade de probabilidade no espaço.

V.9 Uma avaliação global dos resultados

Nessa seção, estão organizadas as ideias principais surgidas dos resultados da aplicação da sequência didática. Alguns destes resultados já foram comentados ao longo das seções anteriores, mas revisitaremos os que consideramos como os principais, comentando-os de forma geral, a fim de traçar um panorama das contribuições pretendidas com esta dissertação ao ensino de ciências.

a. Os alunos e a relação entre ciência e cultura

Os alunos não entendem bem a relação entre o contexto cultural amplo e o desenvolvimento científico. Este é um resultado que ficou evidente logo na fase exploratória da pesquisa, e se mostrou novamente nos módulos posteriores e nas atividades escritas. Em função disso resolvemos reorientar alguns trechos da sequência didática de forma a evidenciar melhor esta relação. Esta ação foi algo corroborado pela metodologia escolhida, que prevê que através de avaliações recursivas sobre o andamento da SD, o planejamento e a ação se tornem cada vez mais ajustados à realidade estudada para a resolução do problema (capítulo 3).

Esta dificuldade esteve também associada a uma certa resistência inicial dos alunos em aceitar que a abordagem daqueles conteúdos histórico-culturais estaria de alguma forma relacionada com a ciência química. Tais observações estão de acordo com outros estudos da literatura (SCHIFFER; GUERRA, 2014; FIUZA *et al*. 2012), onde tal resistência também foi encontrada. Os alunos parecem ter uma expectativa sobre o que deve ser uma aula de química (ou de ciências) mesmo no primeiro ano do ensino médio, onde o contato anterior com a química ainda tenha sido pequeno. Seria esta resistência um reflexo da cultura didática das disciplinas de ciências?

Torna-se, portanto, um desafio contornar esta resistência para que seja possível a discussão desses aspectos com vistas a atingir objetivos epistemológicos dados. Por outro lado, é preciso que o professor esteja preparado para trazer outros exemplos contextuais que possam aproximar dos alunos esta relação ciência-contexto e ajudar a atenuar a dicotomia existente entre as ditas ciências duras e os demais campos do conhecimento humano (SNOW, 1995), como foi feito no início do módulo 2.

b. O professor diante de uma abordagem cultural da ciência

Um dos grandes desafios ao professor na construção desta sequência didática foi a implementação do “eixo” cultural, pois a mesma requer alguns conhecimentos e saberes docentes que nem sempre são construídos ao longo dos cursos de formação inicial. Cunharei aqui especificamente dois: o saber histórico-cultural, ou simplesmente saber cultural, o saber epistemológico-cultural referente a este saber cultural.

Antes de definir o sentido destas duas expressões, cabe aqui diferenciar “saber” de “conhecimento”. Para isso, tomamos de Altet (2001), citando Legroux, a distinção entre saber, informação e conhecimento. Para a autora, a informação é algo “exterior ao sujeito, de ordem social”, o conhecimento é “integrado ao sujeito e de

ordem pessoal” e o saber seria o intermediário entre estes dois polos: “o saber constrói-se na interação entre conhecimento e informação, entre sujeito e ambiente, na mediação e através dela”.

Dentro destas classificações, o saber histórico-cultural seria o saber a respeito da cultura da época em que se passa o episódio histórico. Em outras palavras, olhando para a sociedade como um todo, para os lugares que se relacionam com o contexto daquele episódio histórico e mesmo para os lugares que se relacionam com o contexto do aluno, como podemos descrever esta sociedade? Em nosso caso, significa entender, por exemplo, o papel da mulher na Europa da virada do século XIX para o XX e, portanto, estabelecer o porquê de no mosaico de cientistas que contribuíram para o modelo orbital do átomo de forma mais direta não estarem presentes mulheres. Ou ainda, entender o *modus faciendi* que vigia até o final do século XIX nas artes e que mudanças começaram a surgir neste modo que representaram uma mudança de visão de mundo, de uma ideia de continuidade para uma de discretização da realidade.

O saber epistemológico cultural consiste em entender onde estão as pontes entre a cultura ampla e a ciência e como elas podem ser exploradas pela estratégia didática que se está criando. Nos exemplos abordados acima, a primeira observação diz respeito a um aspecto de NdC bastante importante, sobre quem fazia a ciência naquele contexto, o que nos leva à questão sobre quem faz a ciência hoje, inevitavelmente. No segundo exemplo, a arte expressa uma mudança de visão de mundo que também está presente na ciência, através do atomismo, que superam os continuístas em debate que se intensifica no século XIX e atinge seu ápice na virada do século. Saber **sobre** e saber **como** abordar estas questões são papel do professor e constituem um desafio que pode ser superado através de pesquisa em boas fontes historiográficas, textos da área de ensino de ciências que explorem abordagens histórico-filosóficas e / ou engajamento em algum grupo de pesquisa ou de estudos em grupo, conforme já apontado nas discussões do módulo 2. Nesta investigação, os seminários de pesquisa, característicos da pesquisa-ação, fizeram as vezes deste engajamento na produção cultural da época estudada. Este desafio se soma aos desafios “inadequação dos trabalhos históricos especializados” e “falta de formação específica do professor” já listados por Forato, Martins e Pietrocola (2011), só que no caso específico de uma abordagem na qual um dos principais objetivos é abordar a ciência dentro de seu contexto cultural.

c. Os três eixos

Utilizar a proposta dos três eixos (Guerra, Braga, Reis, 2013) com adaptações contribuiu para que fosse garantida a abordagem contextual da ciência sem perder de vista sua objetividade. Em diversos momentos da construção da SD, houve uma certa hesitação do professor-pesquisador a respeito da seleção do conteúdo histórico. Nestes momentos, a utilização da proposta permitiu que houvessem parâmetros para escolha, sem perder de vista os objetivos traçados inicialmente para a SD e evitando simplificações e omissões e o risco de traçar uma ciência dependente exclusivamente do contexto em que ela se desenvolve. Nesse sentido, esta proposta surge como um caminho possível para contornar dois dos desafios listados por Forato, Martins e Pietrocola (2011), quais sejam, a "simplificação e omissão" e o "relativismo".

A utilização desta proposta não garante, por si, o sucesso em superar estes obstáculos e nem mesmo o sucesso da sequencia didática, de uma forma mais genérica. Mas certamente serve de um bom guia para a construção destas abordagens na medida em que permite ao professor avaliar a sua ação durante a construção da abordagem com base em parâmetros bem definidos, embora não monolíticos ou intransponíveis entre si.

d. O embate entre a conhecimento científico histórico e o conhecimento escolar consolidado

Em diversos momentos da abordagem – no módulo 1 com o pudim de passas de Thomson, no módulo 2 com o modelo de Rutherford e depois no módulo 3 com o modelo de Bohr – houve conflitos entre o conhecimento científico histórico e o conhecimento escolar representado principalmente pelas informações veiculadas nos livros didáticos. Tal embate não é listado em Forato, Martins e Pietrocola (2011), mas constitui também um desafio que se soma aos outros apontados pelos autores. Esse é um obstáculo a ser considerado não em todas as abordagens histórico-filosóficas, mas apenas para aquelas que pretendem reconstruir uma parte do conteúdo curricular que já possui uma abordagem histórica.

A Teoria da Relatividade Restrita ou Geral não é um conteúdo curricular comum da disciplina de física. Qualquer abordagem criada para este tema, portanto, não irá contrariar qualquer tradição do ensino desse tema nas escolas, simplesmente porque esta tradição não existe. No entanto, no caso do atomismo, já existe uma tradição consolidada pelos livros didáticos de química a respeito do que deve ser feito

ao abordar este conteúdo. Qualquer abordagem diferente criada para este tema, cujo ensino já está consolidado, enfrentará conflitos com o que está posto.

É importante dizer que estes conflitos não inviabilizam a abordagem diferenciada, desde que saibamos como lidar com eles. Nesse sentido, um passo importante sugerido neste trabalho é saber categorizar a que nível pertence este conflito. Propomos aqui, olhando para os conflitos surgidos neste trabalho em específico, dois níveis de conflito entre o conhecimento histórico e o conhecimento escolar consolidado pelos livros:

- conflitos de primeiro nível: simplificação excessiva, omissão ou erro;
- conflitos de segundo nível: obstáculo inerente à mediação didática do conhecimento científico ou com implicações para a sequência curricular.

No caso do conflito relacionado ao modelo de Thomson, o que ocorre com o conhecimento escolar é uma longa tradição em repetir uma analogia cuja origem remonta ao início do século XX (HON; GOLDSTEIN, 2013) e que além de ser inapropriada, induz concepções erradas nos estudantes (LOPES, MARTINS, 2009). Alice Lopes (1999: p. 159) destaca que analogias e metáforas caracterizam uma exclusão das condições históricas de produção do conhecimento científico e neste caso, substituir o conhecimento escolar consolidado pelo conhecimento histórico não traria nenhuma consequência mais grave para o currículo ou de outra ordem uma vez que não há conceitos que dependam do modelo atômico de Thomson da forma que ele é veiculado nos livros didáticos.

Nos outros dois casos encontrados nesta sequencia didática, o conflito de segundo nível esteve presente. No caso de Bohr, o modelo veiculado pelo livro didático representava a mediação didática (no sentido atribuído por LOPES, 1999) do conceito científico para tornar-se conhecimento escolar, com implicações na simplificação matemática e da própria justificação do modelo. No caso do modelo de Rutherford veiculado tradicionalmente, também, há uma adequação deste modelo para que ele melhor se acomode no currículo, uma vez que ele é utilizado para o estudo inicial da estrutura atômica. Portanto fica a questão: como atuar em conflitos de segundo nível?

No caso de Bohr, cujo conhecimento escolar constituía um obstáculo inerente à mediação didática, optamos por neste trabalho não falar do átomo de Bohr como historicamente foi concebido, tendo em vista que isso demandaria uma justificação

matemática que não estaria disponível a alunos do ensino médio. Além disso, a mediação didática feita parecia bastante coerente em linhas gerais. Já no caso de Rutherford, optamos por apresentar os dois, uma vez que o modelo consolidado tratava de uma simplificação bastante simples, mas que implicava diretamente nos conteúdos de estrutura atômica.

Outras soluções para este conflito poderiam ser possíveis, no entanto torna-se necessário dimensionar a repercussão das mudanças promovidas em abordagem históricas já consolidadas.

e. Os instrumentos utilizados na sequência didática e suas possibilidades

Uma questão que fica latente a partir da análise dos dados, é a necessidade para esta pesquisa de ter construído um material didático de apoio para evitar que os alunos usassem o livro didático para este fim. Essa é uma observação muito particular desta pesquisa, feita com adolescentes que nem sempre estão atentos à aula ou anotando suas conclusões a respeito dos temas desenvolvidos em sala, conforme foram orientados a fazer. Em outros contextos, a não-utilização de um material de apoio pode, inclusive, ser mais interessante. A quantidade de informações novas e questões epistemológicas a tratar também sublinham a necessidade deste material de apoio não em substituição às estratégias utilizadas em sala, mas como um item a mais para aumentar a possibilidade de atingir o público inteiro (ou quase) independente de sua heterogeneidade.

Esta observação vai ao encontro das estratégias utilizadas em sala: a variabilidade dessas estratégias, ora usando vídeos e áudios, ora imagens ou animações interativas, entre outras se mostrou bastante eficiente no sentido de mantê-los atentos e interessados em aulas às vezes com densidade de conteúdos enorme. A utilização destas estratégias, também, auxiliou na diminuição da assimetria intrínseca aluno-professor (em especial na exibição de imagens e vídeos relacionados ao contexto cultural) na medida em que os alunos sentiam-se habilitados para intervir e participar na aula, uma vez que ali haviam temas sobre os quais ele conhecia alguma coisa. A variabilidade do instrumento levou, portanto, à possibilidade da aula como um espaço de discussão sobre a ciência, o que afinal era o nosso objetivo mais central ao propor uma ação como a descrita nesta dissertação.

Outra observação importante que surge dos resultados das duas atividades escritas é que muitos alunos ainda manifestaram uma visão linear a respeito da

construção da ciência. Uma possibilidade de explicar este fenômeno é através do instrumento principal utilizado para as aulas: *slides*. Os *slides* possuem a peculiaridade de apoiarem discursos lineares, isto é, conta-se uma história que em geral parte de biografia de um cientista e chega até o seu modelo e depois suas relações com os outros modelos, que em geral não é possível ser explicitada em um *slide*. Porém, caso fosse utilizado um outro instrumento que nos permitisse “navegar” entre as histórias construindo relações entre elas, talvez fosse possível quebrar a linearidade do discurso e diminuir sua aparente consequência na construção da visão dos alunos sobre o desenvolvimento científico.

VI. Considerações Finais

Esta investigação procurou entender que questões sobre a Natureza da Ciência poderiam ser discutidas em nível médio com a introdução de personagens históricos do final do século XIX e início do século XX tradicionalmente inexplorados no ensino de modelos atômicos. Para responder a esta questão, traçamos 3 objetivos, que passavam pela construção de uma abordagem didática introduzindo na narrativa histórica estes personagens e explicitando as questões de NdC a serem discutidas. Após isso, seguimos com a aplicação da sequência didática construída e análise da aplicação, discutindo suas potencialidades e desafios da abordagem.

Para cumprir estes objetivos, fizemos a opção por alguns caminhos: o primeiro foi a adoção (com adaptações) da ferramenta dos três eixos desenvolvida por Guerra, Braga e Reis (2013), o que influenciou a nossa revisão bibliográfica em fontes históricas e norteou o desenvolvimento de toda a construção da SD. Para analisar e guiar as etapas da aplicação, optamos pela pesquisa-ação complementada pela análise textual discursiva para complementar a análise dos dados em sua parte escrita.

A partir da revisão histórica foi possível notar que a seleção do episódio histórico e o recorte feito coadunaram bem com as questões de NdC que se pretendiam discutir. De uma forma superficial, é possível inclusive dizer que a questão de pesquisa poderia ser respondida apenas com a revisão histórica, destacando-se as questões de NdC como respostas; porém, os objetivos iam além e por isso incluímos nas etapas seguintes a aplicação e avaliação da estratégia utilizada, com vistas a evidenciar se a sequência didática construída seria efetiva ou não.

Então, guiados pela pesquisa-ação, fomos construindo a SD ao longo da aplicação, observando as repercussões das estratégias utilizadas em cada módulo no objetivo da SD, que era promover a discussão dos aspectos de NdC levantados na revisão histórica e escolhidos no marco teórico. Nesta etapa, foi possível notar que a utilização da pesquisa-ação nos possibilitou investigar a pergunta de pesquisa com mais profundidade em diversos momentos da aplicação, visto que a movimentação das variáveis dos ambientes pesquisados nos levava a ajustar a criação da sequência didática a fim de adaptar-se a essas mudanças sem afastar-se dos aspectos de NdC que deveriam ser discutidos durante a aplicação. Além disso, a pesquisa-ação, também, permitiu a reflexão do próprio docente a respeito do processo de construção

da SD e a personalização dos recursos e estratégias didáticas em tempo real, conforme era demandado pelo dia-a-dia da sala de aula. Consideramos, então, que a pesquisa-ação é um bom instrumento para avaliar, com um olhar difuso e orgânico, pesquisas como essa, cujo objeto é a construção de estratégias para abordar temas específicos em sala de aula.

A partir deste olhar mais processual e holístico, também foi possível levantar alguns desafios para a formação do professor que pretende trabalhar com uma abordagem cultural da ciência e apontar possíveis caminhos para este desafio. Os três eixos se colocam como um bom instrumento para ajudar na construção de sequências didáticas histórico-filosóficas que abordem a ciência por um viés cultural.

Sugere-se como pesquisas futuras que se investigue o potencial de abordagens histórico-filosóficas para outros temas utilizando a ferramenta dos três eixos, comparando a sua repercussão com a desta pesquisa ou ainda procurando outros objetivos diferentes dos nossos neste trabalho, de modo a contribuir com um ensino de ciências que promova a reflexão nos alunos, com vistas à constituição de futuros cidadãos capazes de perceber a ciência no mundo ao seu redor de forma crítica.

Referências bibliográficas

ABD-EL-KHALICK, F. “Teaching *with* and *about* Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains.” **Science & Education**, v. 22, p. 2087 – 2107, 2013.

ACEVEDO DIAZ, J. A. “Enfoques Explícitos *versus* implícitos em la enseñanza de la naturaleza de la ciencia.” **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgacíon de las Ciencias**, v. 6, n. 3, p. 355-386, 2009.

ALLCHIN, D. “Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science.” **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.

ALLCHIN, D. “From Science Studies to Scientific Literacy: a view from the classroom.” **Science & Education**, 23, p. 1911 – 1932, 2014.

ALLCHIN, D. “Pseudohistory and pseudoscience.” **Science & Education**, 13, p. 179-195, 2004.

ALTET, M. “As competências do professor profissional: entre conhecimentos, esquemas de ação e adaptação, saber analisar.” In: PAQUAY, L.; PERRENOUD, P.; ALTET, M.; CHARLIER, E. (orgs.) **Formando Professores Profissionais: Quais estratégias? Quais competências?** 2. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2001.

BACHELARD, Gastón, **A formação do espírito científico**, Ed. Contraponto, 3ª Edição, 2002. Tradução: Estela dos Santos Abreu.

BOGDAN, R. C., BIKLEN, S. K. **Investigação Qualitativa em Educação**, Tradução: Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Porto: Porto Editora, 1994.

BOHR, Niels “On the constitution of atoms and molecules.” **Philosophical Magazine**, v. 26, n.1, p. 1-25, 1913.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. “O papel dos livros didáticos franceses do século xix na construção de uma concepção dogmático-instrumental do ensino de física.” **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, v. 25, n.3, p. 507-522, 2008.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. “The role of Historical-Philosopical Controversies in Teaching Sciences: The Debate Between Biot and Ampère”, **Science & Education**, v. 21, p. 921-934, 2012.

BRANTS, G. W. “Estudo da relação poder/submissão em sala de aula a partir da análise da interação conversacional entre professor e alunos.” **Revista Eletrônica de Divulgação científica em Língua Portuguesa, Linguística e Literatura**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2004.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Ministério da educação. Secretaria de Educação Básica. Brasília: MEC/SEB. 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf >. Acesso em: 15 Nov 2014.

CHAGAS, A. P. “Existem átomos? (Abordando Jean Perrin).” **História da ciência e ensino: construindo interfaces**, v. 3, p. 7-16, 2011.

CHAMIZO, J. A.; GARRITZ, A. “Historical Teaching of Atomic and Molecular Sctructure.” In: MATTHEWS, M. R. (Ed) **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. Dordrecht: Springer. 2014.

CHAVES, L. M. M. P. **História da Ciência no estudo de modelos atômicos em livros didáticos de química**. Dissertação de Mestrado em Educação da Universidade de Brasília, 2011.

CHIZZOTTI, A. “A pesquisa qualitativa em ciências humanas e sociais.” **Revista Portuguesa de Educação** ano 16, v. 2,, p. 221-236, 2003.

COSTA, F. C. “Primeiro Cinema.” In: Mascarello, F. (Org.) **História do Cinema Mundial**. Campinas, SP: Papirus, p. 17-52, 2006.

ECHEVERRÍA, J. “De La filosofía de la ciencia a la filosofía de la tecnociencia.” **Revista Internacional de Filosofía**, n. 50, p. 31-41, 2010.

EVERDELL, W. R. **Os primeiros modernos**. Tradução de Cynthia Cortes e Paulo Soares, Rio de Janeiro: Record, 2000.

FERREIRA, P. F. M., JUSTI, R. S., “Modelagem e o Fazer Ciência”, **Química Nova na Escola**, v. 28, p. 32-36, 2008.

FIUZA, L.; GUERRA, A.; ARAUJO NETO, W. “Controvérsia de alunos de ensino médio quanto a novas abordagens do conteúdo de física.” **Anais do 2º IHPST Latinoamericano**. Mendoza: Universidade de Mendoza, 2012.

FOLSE, H. **The Philosophy of Niels Bohr – the framework of complementarity**. New York: Elsevier Science Publishing Company, 1985.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. “A. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, p. 1, p. 27-59, 2011.

FORMAN, P. “A cultura de Weimar, a causalidade e a teoria quântica, 1918-1927”. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, n. 2, p. 3-98, 1983.

FOUREZ, G. “Crise no Ensino de Ciências?” **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

FRANCISCO JR, W. E.; FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R. “Experimentação Problematizadora: Fundamentos Teóricos e Práticos para a Aplicação em Salas de Aula de Ciências.” **Química Nova na Escola**, n. 30, p. 34-41, 2008.

GALILI, I. “On the power of fine arts pictorial imagery in science education.” **Science & Education**, v. 22, p. 1911 – 1938, 2013.

GALISON, P. “Objectivity is romantic.” In: FRIEDMAN, J.; GALISON, P.; HAACK, S. **The Humanities and The Sciences**, American Council of Learned Sciences Occasional Paper n. 47, 2000. Disponível em <http://archives.acls.org/op/47_Humanities_and_ Sciences.htm>, acessado em 20/11/2014.

GIACOMELLI, I. L. (2009) “Antecedentes do Fotojornalismo.” **Anais do VII Encontro Nacional de História da Mídia**. Fortaleza – CE, p. 1-15, 2009.

GIORDAN, M.; Y. A. F. GUIMARÃES; MASSI, L. “Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no ensino de ciências.” **Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis, 2011.

GOMBRICH, E. H. **A História da Arte**. Tradução de Cristiana de Assis Serra. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

GUERRA, A; BRAGA, M; REIS, J.C. “History and Philosophy of Science through Three Axes: A Case in Modern Physics”. **Proceedings of 12th Biennal Conference International History, Philosophy, Science Teaching group**, Pittsburgh, EUA, 2013.

GUIMARAES, D. A. D. “O hibridismo do cinema contemporâneo.” **Contracampo (UFF)**, Revista do PPG Comunicação, n.13, p. 7-24, 2005.

HOBSBAWM, E. **A era dos extremos: o breve século XX**. Tradução: Marcos Santarrita. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

HON, G.; GOLDSTEIN, B. R. J. J. “Thomson’s plum-pudding atomic model: The making of a scientific myth”. **Annalen der Physik**, v. 525 n. 8-9, A129 – A133, 2013.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. “Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles”. **Science & Education**, v. 20, n. 3, 293-316, 2011.

IRZIK, G; NOLA, R. “A family resemblance approach to the nature of science for science education.” **Science & Education**, 20, 591-607, 2011.

JENSEN, W. B. “The origin of Bunsen Burner.” **Journal of Chemical Education**, v. 82, p. 518, 2005.

KOHLER JR, R. E. “The origin of G. N. Lewis Theory of shared pair bond.” **Historical Studies in the Physical Sciences**, v. 3, p. 343 – 376, 1971.

KRAGH, H. “Before Bohr: Theories of atomic structure 1850-1913”. **RePoSS: Research Publications on Science Studies** 10. Aarhus: Centre for Science Studies, University of Aarhus. 2010.

KRAGH, H. **Quantum Generations – a history of Physics in the twentieth century**. Princeton: Princeton University Press, 1999.

LABARCA, M.; BEJARANO, N.; EICHLER, M. L. “Química e Filosofia: Rumo a uma frutífera colaboração.” **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1256 – 1266, 2013.

LANGHI, R.; NARDI, R. “Trajetorias Formativas Docentes: buscando aproximações na bibliografia sobre formação de professores”, **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 5, n. 2, p. 7 – 28, 2012.

LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; SCHWARTZ, R. S. “Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of

Learners' Conceptions of Nature of Science." **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

LEITE, M. S. **Contribuições de Basil Bernstein e Yves Chevallard para a discussão do conhecimento escolar**. Dissertação de Mestrado em Educação da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004.

LOMBARDI, O.; LABARCA, M. "The ontological autonomy of the chemical world." **Foundations of Chemistry**, v. 7, n. 2, p. 125 – 148, 2005.

LOMBARDI, O.; LABARCA, M. "The philosophy of chemistry as a new resource for Chemistry Education." **Journal of Chemical Education**, v. 84, n. 1, p. 187 – 192, 2007.

LOPES, A. R. C. **Conhecimento Escolar: Ciência e Cotidiano**. Rio de Janeiro: EdUERJ, p. 201-220, 1999.

LOPES, C. V. M. **Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica**. Tese de Doutorado em História da Ciência da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2009.

LOPES, C. V. M., MARTINS, R. A. J. J. "Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: o "pudim de passas" nos livros texto", In: **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis, 2009.

LOPES, C. V. M.; MARTINS, R. A. "Uma lacuna na história dos modelos atômicos em livros didáticos: John William Nicholson e a astroquímica." In: **Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis, 2007.

MARTINS, R. A. "Introdução: a história das ciências e seus usos na educação." In: Cibelle Celestino Silva (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006, p. xxi-xxxiv.

MATTHEWS, M. "História, filosofia e Ensino: a tendência atual de reaproximação." **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

McCOMAS, W. F. "Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science", **Science & Education**, v. 17, p. 249-263, 2008.

McCORMMACH, R. "The atomic theory of John William Nicholson." **Archive for History of Exact Science** v. 3, p. 161-184, 1966.

MELO, M. R., LIMA NETO, E. G. "Dificuldades de Ensino de Aprendizagem em Modelos Atômicos", **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 112-122, 2013.

MILNE, C. "What is Science?" In: MILNE, C. **The Invention of Science – Why History of Science Matters for the Classroom.** Netherlands: Sense Publishers, p. 1-19, 2011.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva** (2ª Edição). Ijuí (RS): Editora Unijuí, 2011.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. “Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino.” **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3, p. 283 – 306, 2002.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. “Identifying ideas about science from the representation of the atom.” **Journal of Science Education**, 15, p. 134, 2014.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. “Modelos atômicos em livros didáticos de química do PNLEM 2012: uma análise qualitativa à luz da história e filosofia da ciência.” **Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência**, Água de Lindoia, SP, Brasil, 2013.

OKI, M. C. M. “Controvérsias sobre o atomismo no século XIX”, **Química Nova**, v. 32, n. 4, 2009, 1072-1082.

OKI, M. C. M.; MORADILLO, E. F. “O ensino da história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência.” **Ciência & Educação**, v.14, n.1, p.67-88, 2008.

OLIVEIRA, F. F. **Controvérsia Histórica: uma possibilidade de problematização acerca de elementos de natureza da ciência no ensino médio**. Dissertação de Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2014.

OSBORNE, J., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R., DUSCHL, R. “What ‘‘Ideas-about-Science’’ Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community.” **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40 n. 7, p. 692-720, 2003.

OSTERMANN, F. “A Epistemologia de Kuhn.” **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 184 – 196, 1996.

PERES, I. M.; MAIA, E.; COSTA, F. “Spectroscopy instruments and the teaching of chemistry in the polytechnic school of Lisbon (1860 – 1960).” **Travaux de Laboratoire**, Tome L, Vol. II, 2010.

PIMENTA, S. G. “Professor reflexivo: construindo uma crítica.” In: PIMENTA, S. G.; GHEDIN, E. (Orgs.) **Professor reflexivo no Brasil: gênese e crítica de um conceito**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. “Ciência, Tecnologia e Sociedade: A relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio.” **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.

PORTO, P. A. “História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: Em busca dos objetivos educacionais da atualidade.” In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Orgs.). **Ensino de Química em foco** (1ª Ed, p.159-180). Ijuí (RS): Unijui, 2010.

PRAIA, J., GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., “O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania”, **Ciência & Educação**, 2007, v. 13, n. 2, p. 141-156.

QUADROS, A. L.; LOPES, C. M.; SILVA, F. A. B.; CORREA, J. M. M.; PIO, J. M.; TORRES, N. O.; PINTO, P. L.; NOGUEIRA, R. K. “A percepção de professores e estudantes sobre a sala de aula de ensino superior: expectativas e

construção de relações no curso de química da UFMG." **Ciência & Educação**, v. 16, n. 1, 2010.

REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M. "Ciência e Arte: relações improváveis?" **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 13 (suplemento), p. 71-87, 2006.

ROSENFELD, L. "Niels Bohr." In Cesar Benjamin (ed. brasileiro). **Dicionário de Biografias Científicas**, vol. 1, Rio de Janeiro: Contraponto Editora, 2007.

SALINAS, S. R. A. "Einstein: O Atomismo e a Teoria do Movimento Browniano." **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 23 – 26, 2005.

SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. "Metodologias de Pesquisa no Ensino de Ciências na América Latina: como pesquisamos na década de 2000." **Ciência & Educação**, v. 19, n. 1, p. 15-33, 2013.

SCHIFFER, H.; GUERRA, A. "Electricity and Vital Force: Discussing the Nature of Science Through a Historical Narrative." **Science & Education**, v. online, p. 1-26, 2014.

SCHNETZLER, R. P. "Apontamentos sobre a história do ensino de Química no Brasil." In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Orgs.). **Ensino de Química em foco** (1ª Ed, p.51-75). Ijuí (RS): Unijui, 2010.

SCHUMMER, J. "Coping with the Growth of Chemical Knowledge." **Educacíon Química**, v. 10, n. 2, p. 92-101, 1999.

SILVA, A. P. B. "Jean Perrin e o átomo: dois ilustres incompreendidos no início do século XIX." **Anais do 12º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia**, Salvador, BA, Brasil, 2010

SILVA, C. M.; SANTOS, C. G.; MENDONÇA, P. C. C. "Análise da história da ciência em livros didáticos de química aprovados no PNLD 2012." **Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Água de Lindoia, SP, Brasil, 2013.

SILVA, T. T. "A produção social da identidade e da diferença." In. SILVA. T. T. **Identidade e Diferença**. Petrópolis, Editora Vozes, p. 73-102, 2011.

SNOW, C. P. **As duas culturas e uma segunda leitura.** São Paulo: Edusp, 1995.

TALANQUER, V. "School Chemistry: the need for transgression." **Science & Education**, v. 22, p. 1757 – 1753, 2013.

THALOS, M. "The Lens of Chemistry", **Science & Education**, 22, p. 1707 – 1721, 2013.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação** (3ª Edição). São Paulo: Cortez Autores Associados, 1986.

THOMSON, J. J. **The corpuscular theory of matter**, London: Archibald Constable & Co. LTD, 1907.

TOLEDO, R. F., JACOBI, P. "Pesquisa-ação e educação: compartilhando princípios na construção de conhecimentos e no fortalecimento comunitário para o

enfrentamento de problemas.” **Educação e Sociedade**, v.34, n. 122, p. 155-173, 2013.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. A “História da Ciência nos Livros Didáticos de Química do PNLEM 2007”, **Ciência & Educação**, v. 18, n. 2, 2012, p. 291-308.

WEISBERG, M.; NEEDHAM, P. “Matter, Structure and Change: Aspects of the Philosophy of Chemistry.” **Philosophy Compass**, n. 5, v. 10, p. 927 – 937, 2010.

Apêndices

Parte dos recursos utilizados nesta dissertação estão disponíveis através do endereço eletrônico < http://goo.gl/Lzjxyn > (ou entrando em contato com o autor). As apresentações de *slides* estão disponíveis sob a licença Creative Commons BY-NC-SA. Os vídeos e o programa de simulação usados nas apresentações foram obtidas em sites públicos na internet e são pertencentes a seus respectivos autores.

Para que algumas das apresentações funcionem plenamente, é necessário baixar os vídeos e aplicativos do link e salvá-los na mesma pasta da apresentação.

A codificação utilizada para os *slides* segue o seguinte padrão:

Exemplo: M3S2 = Módulo 3, *Slide* 2



Apêndice 1 – Questionário de Sondagem

COLÉGIO DE APLICAÇÃO DA UFRJ
Setor Curricular de Química – 1º Ano EM
Sondagem - 1º Trimestre
Prof. Cristiano B. Moura

ALUNO: _____ TURMA: 21_____

Responda primeiro às questões da frente da folha e só depois de terminar olhe o verso.

1) Represente o átomo. Você pode representá-lo de diversas formas: através de um poema, de um desenho, escrevendo por extenso, ou de outra maneira pela qual você acredita ser possível representá-lo.

2) Agora, explique em um texto de pelo **menos 5 linhas** por que você escolheu a forma apresentada para representar o átomo.

3) Onde você estudou no ano passado?

   a. CAp UFRJ b. Outra escola: _____

   c. No caso de ser outra escola, era pública ou particular? Você estudou química? Em caso positivo, foi como uma disciplina separada (com professor diferente) ou era dentro da disciplina de ciências?

   _____

   _____

   _____

   _____

   _____

   _____

4) Que série você cursou no ano passado?

   a. 9º ano do Ensino Fundamental b. 1º ano do Ensino Médio

5) Resuma abaixo (em tópicos) o que você aprendeu no ano passado a respeito do átomo.

6) Qual livro você usou no ano passado nas aulas de ciências?

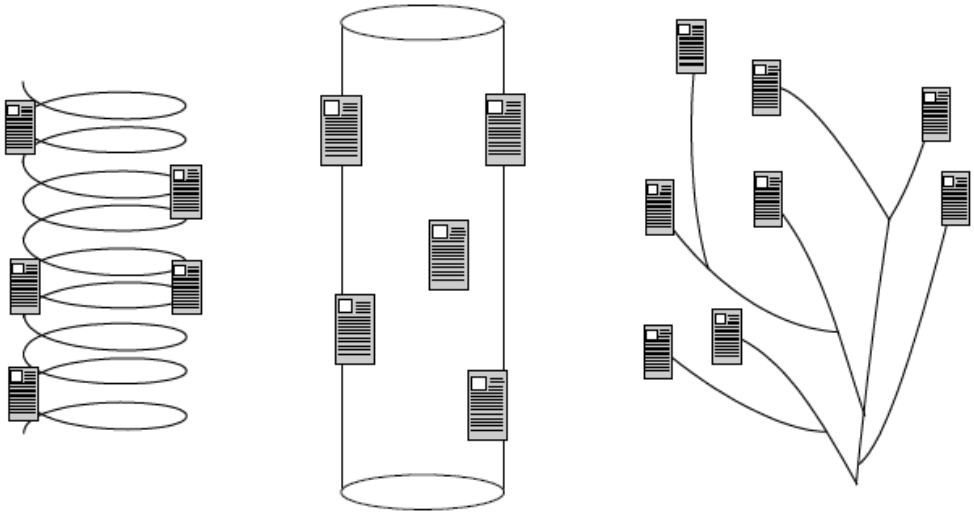
7) Você fez algum trabalho em grupo ou desenvolveu algum projeto nas aulas de ciências do ano passado? Qual?

Apêndice 2 – Roteiro da Atividade 1

COLÉGIO DE APLICAÇÃO DA UFRJ
Setor Curricular de Química – 1º Ano EM
Atividade de Sala 1
Tema: Modelos atômicos (Partes 1, 2 e 3)
Prof. Cristiano B. Moura

ALUNOS/AS: _____ **TURMA:** _____

Construa um esquema gráfico que organize o estudo da estrutura da matéria que aprendemos até agora. Você deve escolher uma forma de apresentar aquilo que julga importante neste estudo e que facilite a compreensão do que está sendo explicado.
Abaixo seguem três sugestões de disposição de conteúdo, mas você pode fazer de outra maneira que achar conveniente.



Apêndice 3 – Roteiro da Atividade Final

COLÉGIO DE APLICAÇÃO DA UFRJ
Setor Curricular de Química – 1º Ano EM
Prof. Cristiano B. Moura

Proposta de Atividade

Prezados alunos,

Como fechamento da unidade a respeito dos modelos atômicos, faremos, em uma atividade coletiva, a construção de um painel histórico onde organizaremos o que foi estudado sob três temáticas (ou eixos): a cultural, a científica e a técnica.

Vocês deverão se organizar em 6 grupos por turma, de no mínimo 5 e no máximo 6 alunos e irão construir 12 "*slides*" em papel onde deve constar em cada um desses *slides* uma imagem e um pequeno texto a respeito dessa imagem (ao que ela se refere, o que você está querendo explicar com ela, o que você considera importante saber sobre a matéria e que tem relação com aquela imagem). Você poderá usar imagens utilizadas pelo professor em seus *slides* durante as aulas (Se precisar solicite a imagem em tamanho ou resolução maior ao professor).

No eixo cultural vocês devem construir *slides* que tragam informações a respeito da arte, dos costumes, momento político ou social à época do desenvolvimento dos modelos atômicos. No eixo técnico, vocês devem incluir nos *slides* informações sobre os aparatos técnicos e experimentos criados na época estudada em sala. No eixo científico, deverão ser incluídas as questões sobre os modelos atômicos em si e sobre o seu desenvolvimento.

Depois, nos dias 16/04 (para as turmas 21A e 21B) e 17/04 (para a turma 21C), por meio de um pequeno debate montaremos um painel histórico da turma utilizando os *slides* construídos pelos grupos.

Observações:

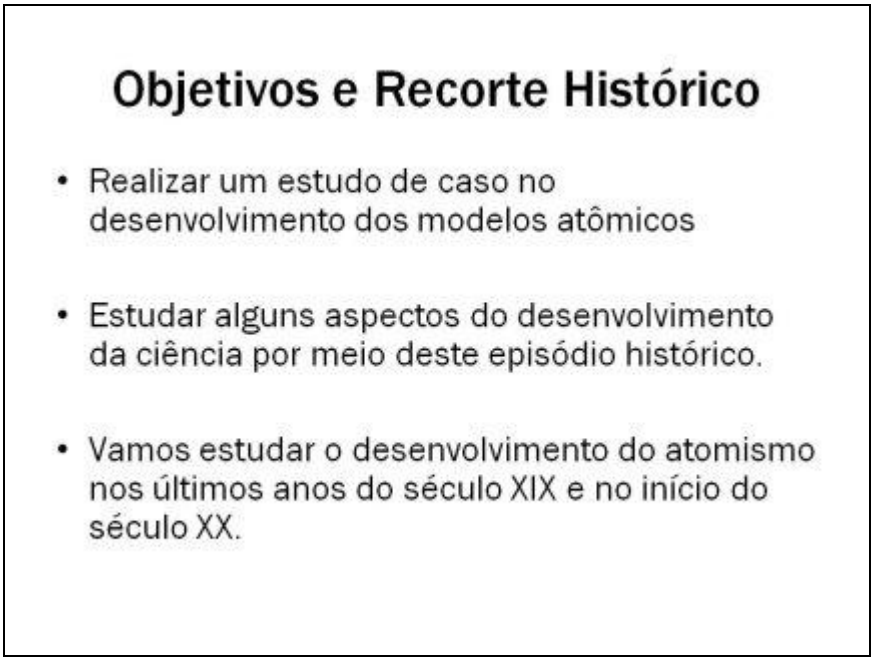
- Os *slides* devem vir prontos para o dia da atividade e deverão ser feitos em papel em tamanho A4. Os *slides* não deverão ser digitados; use colagens para as imagens e o texto explicativo deve ser curto, um ou dois parágrafos, escrito à mão na folha.

- Este trabalho será utilizado como material de estudo de vocês para a avaliação trimestral.

Apêndice 4 – *Slides* do Módulo 1



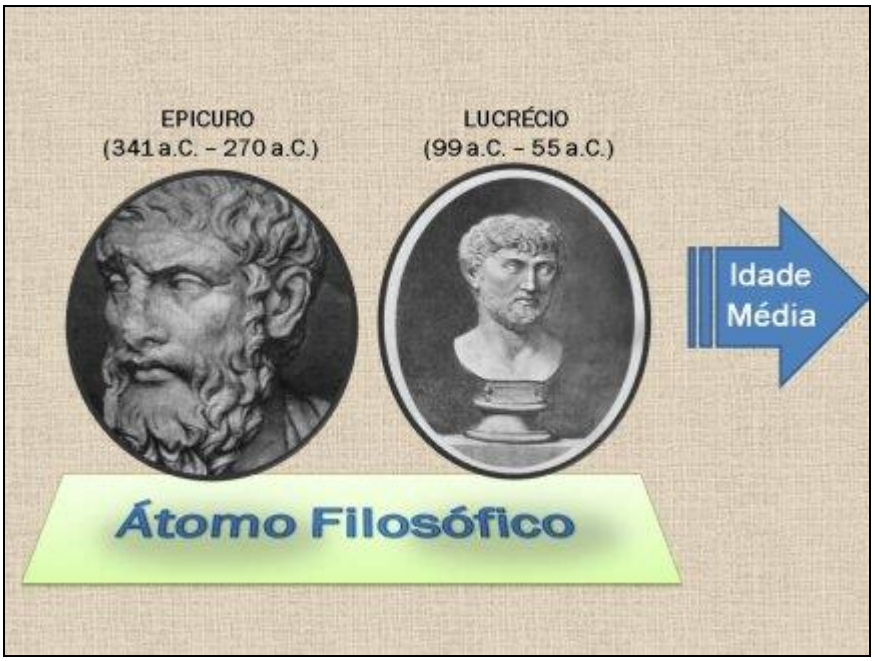
M1S1 – Slide 1



M1S2 – Slide 2



M1S3 – Slide 3



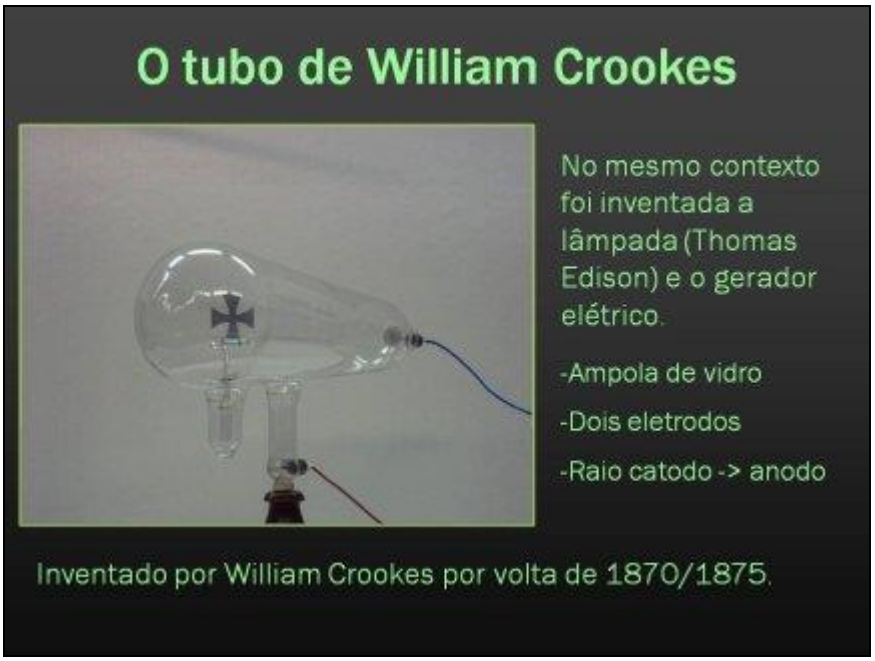
M1S3 – Slide 3



M1S4 – Slide 4



M1S5 – Slide 5



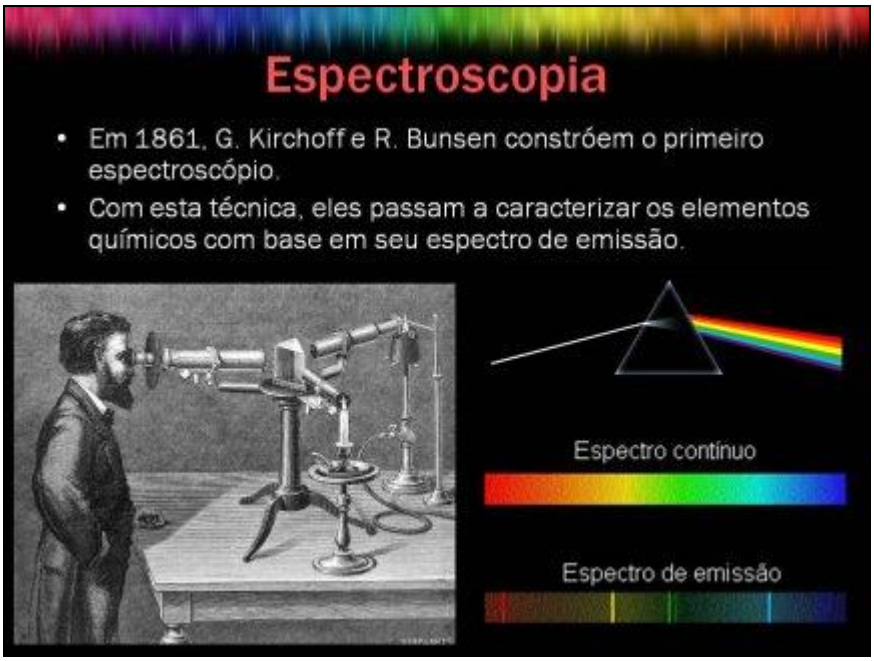
M1S6 – Slide 6



M1S7 – Slide 7



M1S8 – Slide 8



M1S9 – Slide 9



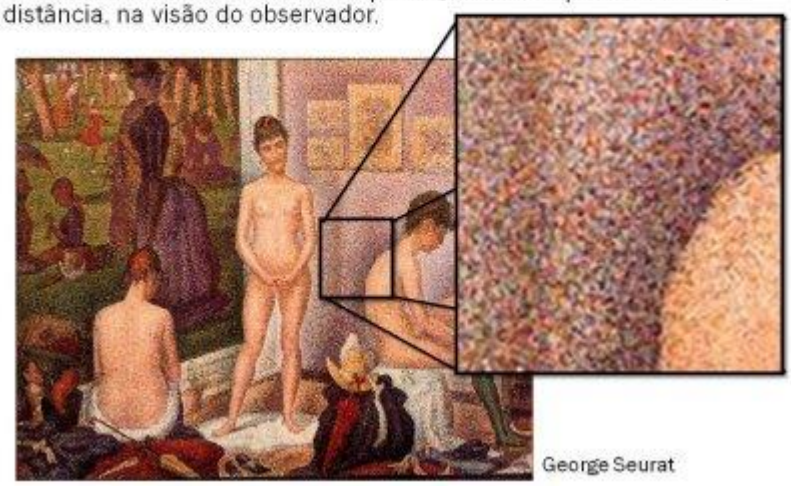
M1S10 – Slide 10



M1S11 – Slide 11

Pontilhismo ou Divisionismo

Teoria ou prática de separar as cores em suas componentes e de aplicar estas lado a lado (pequenos pinceladas em forma depontos) na tela em vez de misturá-las na paleta, de modo que se fundam, a distância, na visão do observador.



George Seurat

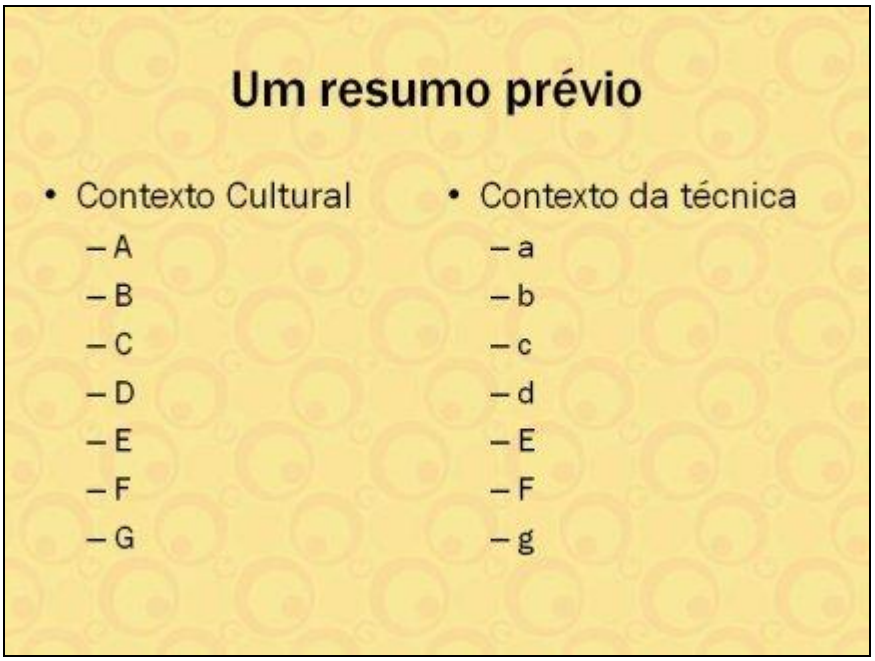
M1S12 – Slide 12

Novas técnicas de impressão

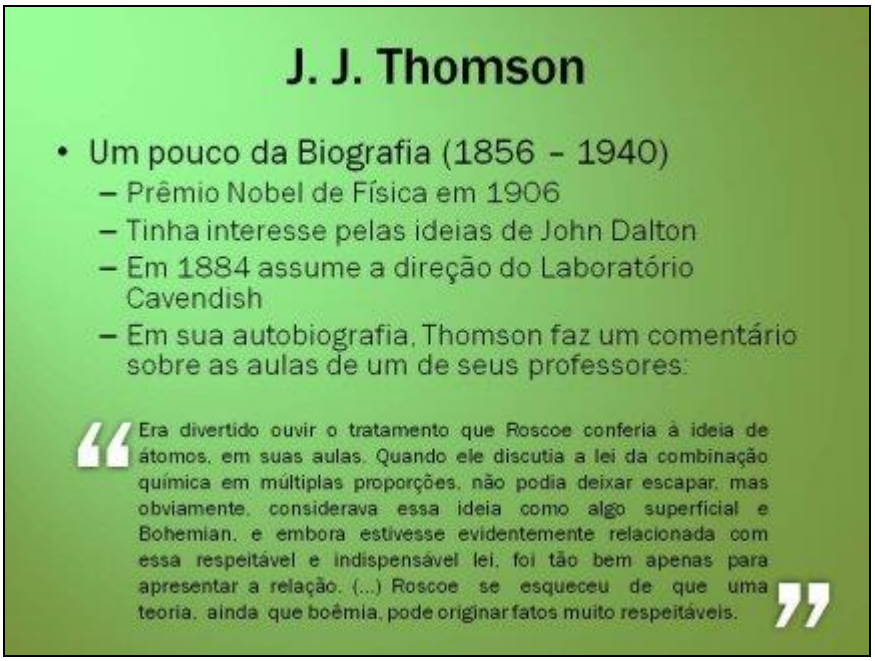
- Halftone
  - Técnica para impressão de fotografias em jornais impressos.



M1S13 – Slide 13



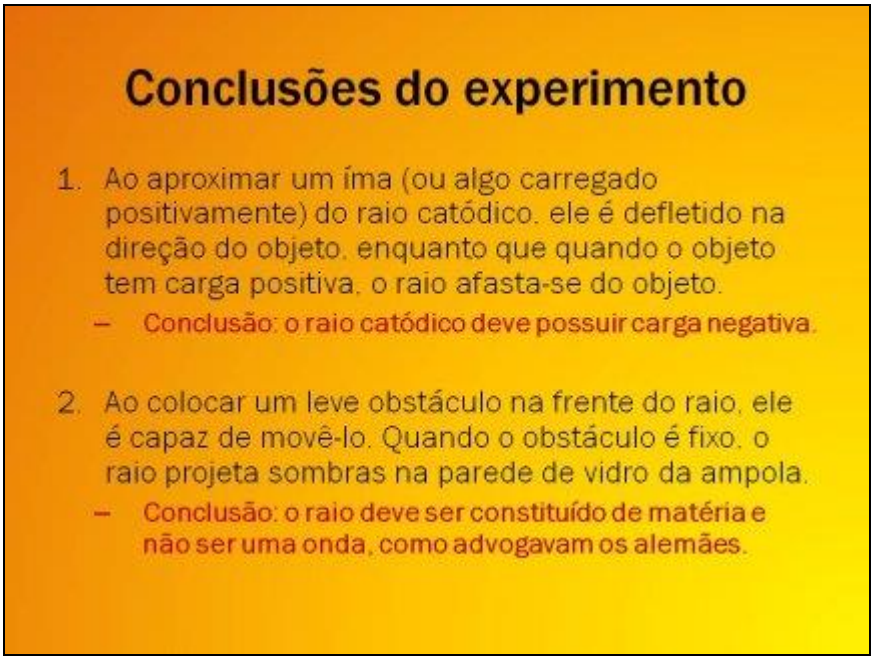
M1S14 – Slide 14



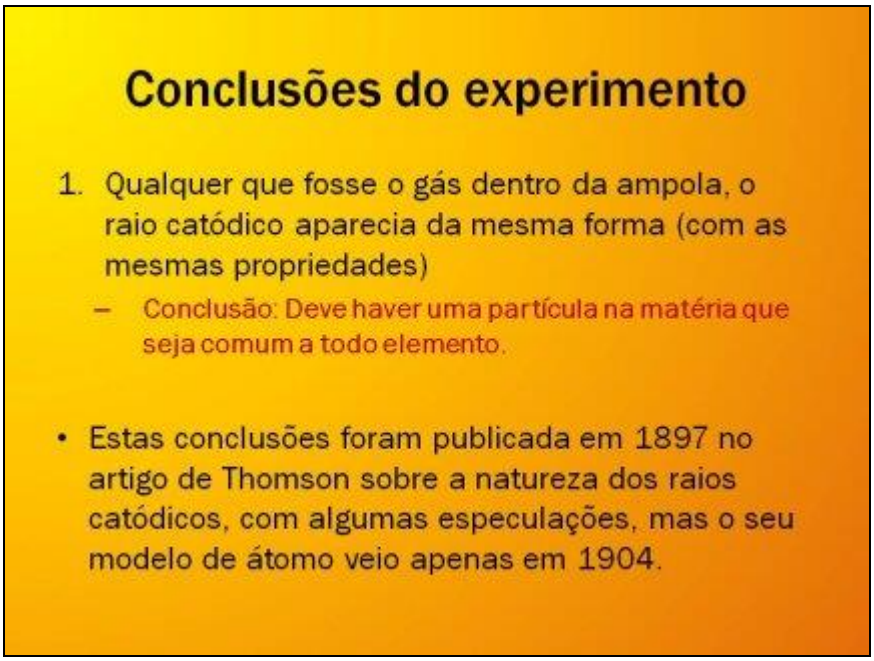
M1S15 – Slide 15



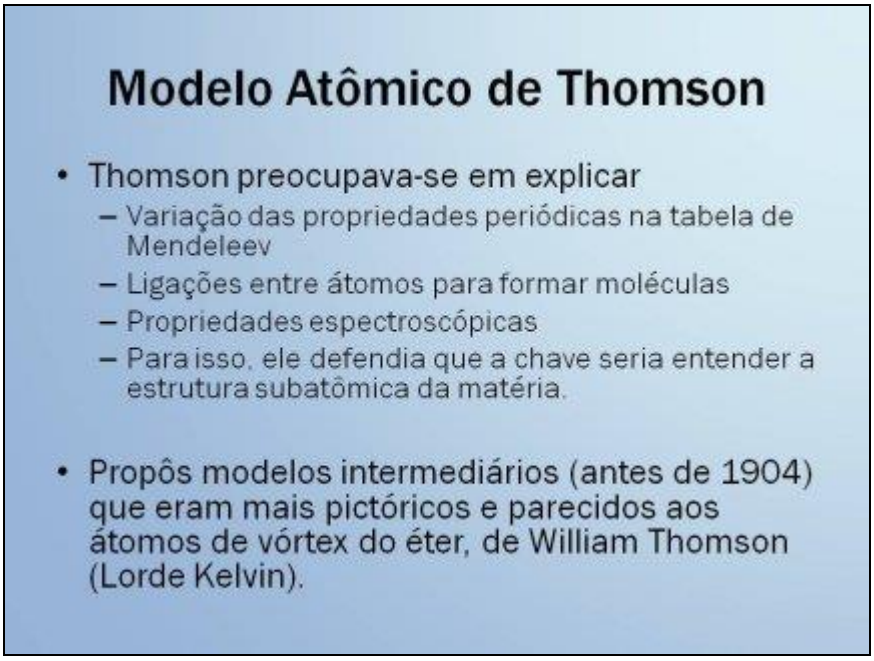
M1S16 – Slide 16



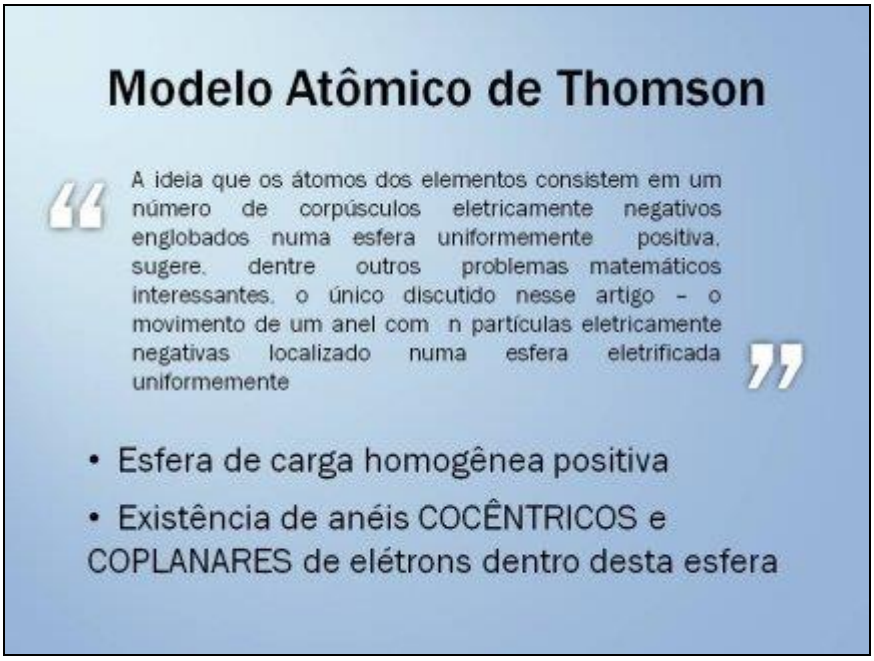
M1S17 – Slide 17



M1S18 – Slide 18



M1S19 – Slide 19



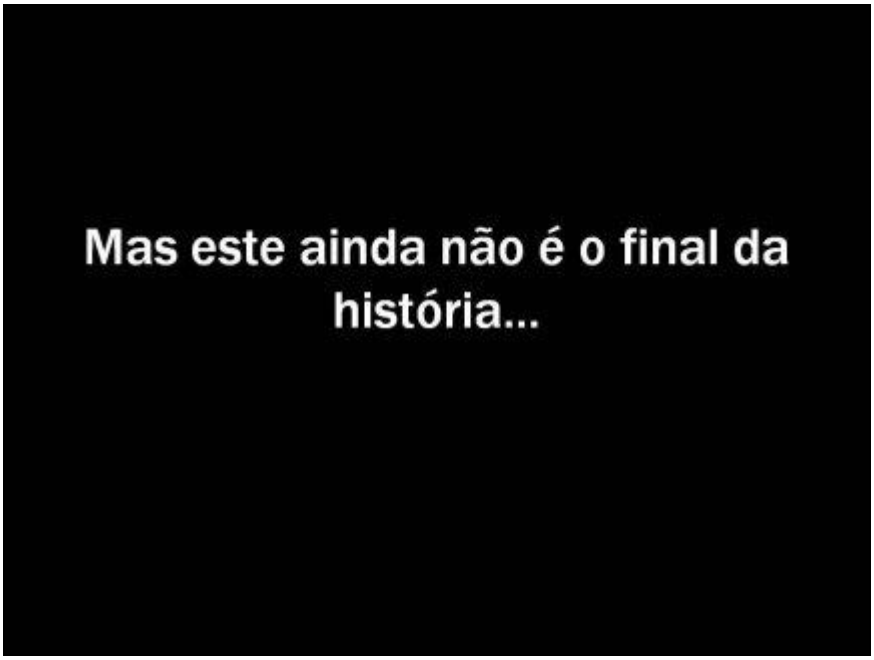
M1S20 – Slide 20



M1S21 – Slide 21



M1S22 – Slide 22



M1S23 – Slide 23

Apêndice 5 – *Slides* do Módulo 2



M2S1 – Slide 1



M2S2 – Slide 2



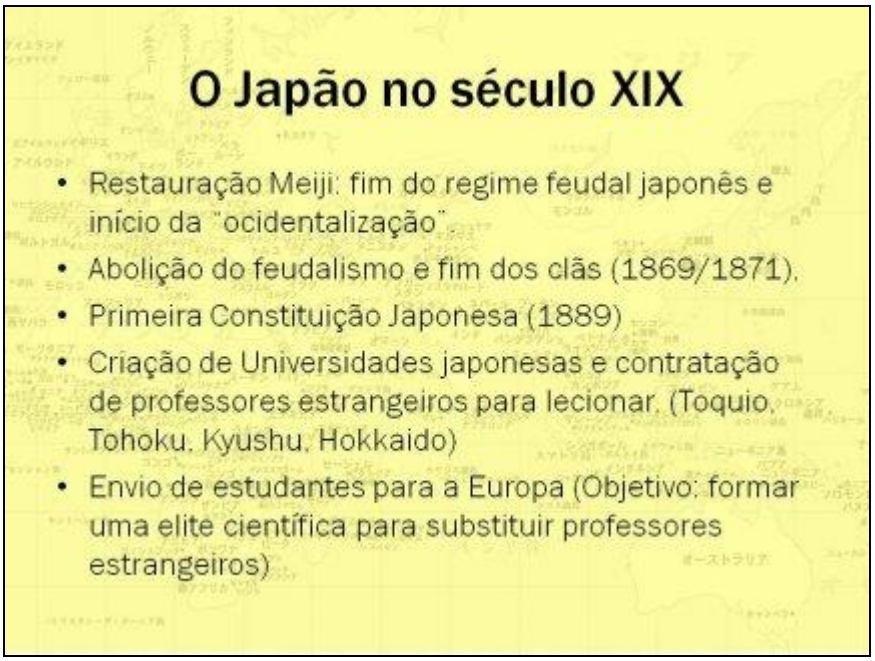
M2S3 – Slide 3



M2S3 – Slide 3



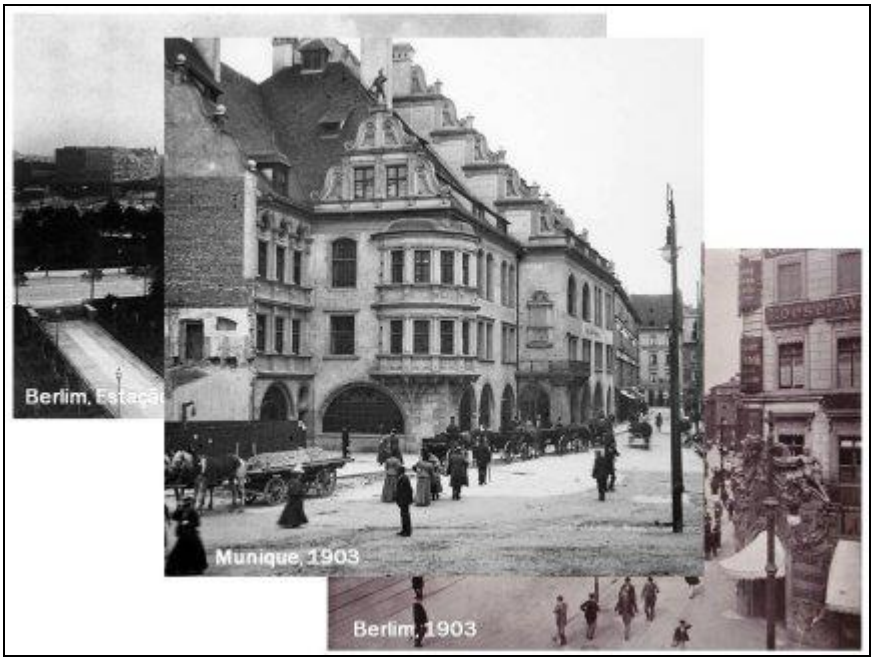
M2S4 – Slide 4



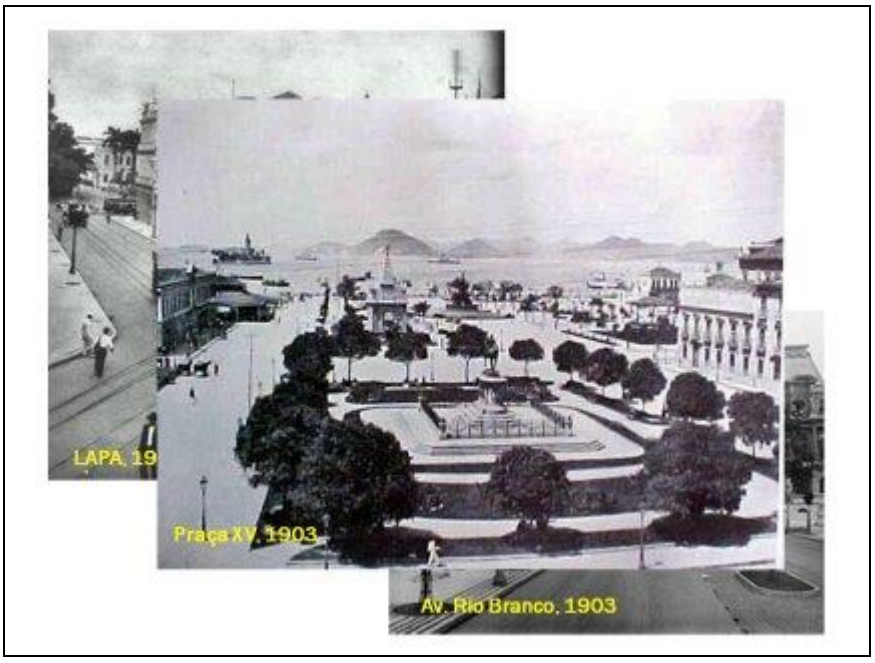
M2S5 – Slide 5



M2S6 – Slide 6



M2S7 – Slide 7



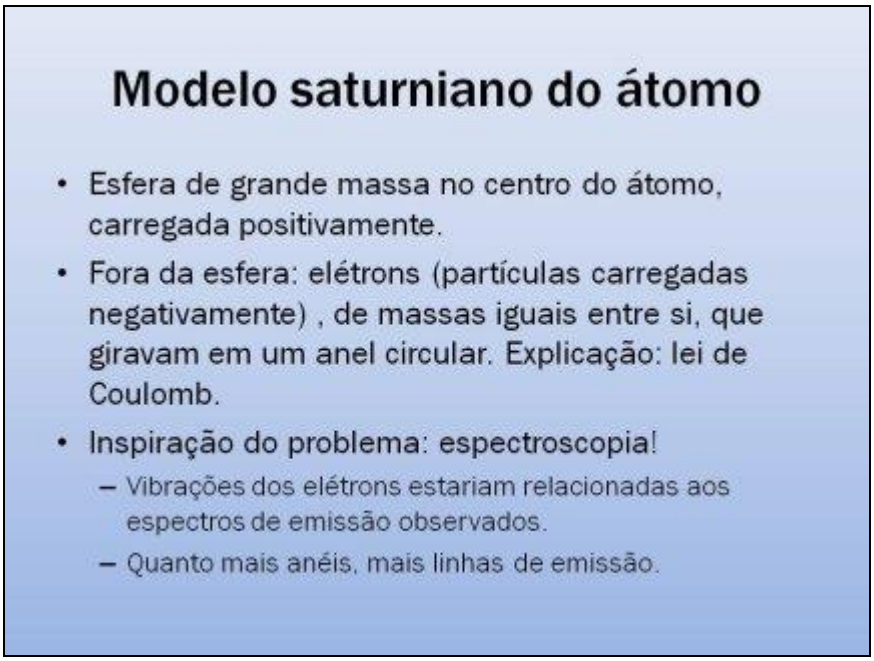
M2S8 – Slide 8

O modelo de Nagaoka para o átomo

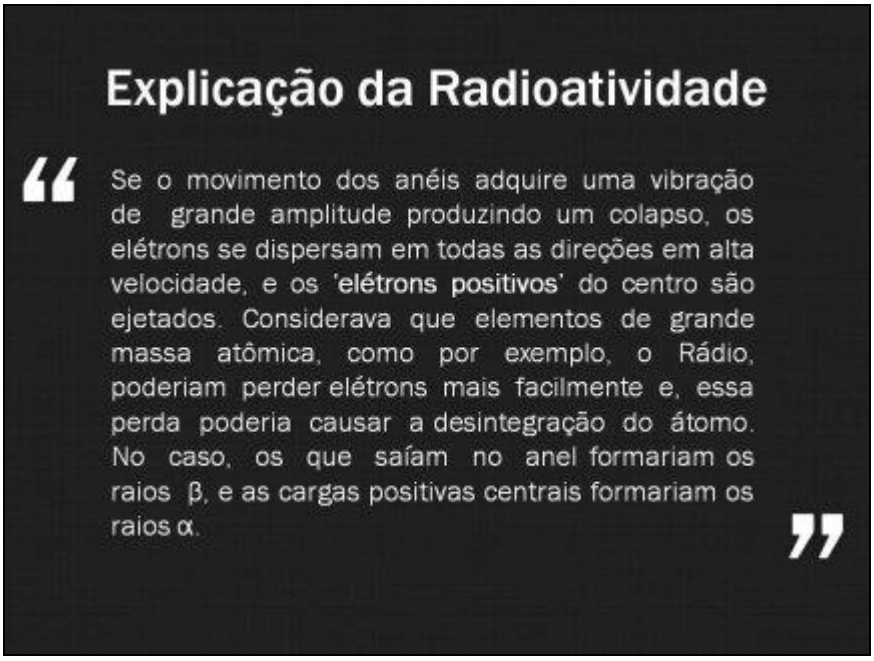
- Em três artigos publicados em uma revista japonesa, na Nature e na Philosophical Magazine, Nagaoka.

"O sistema que vou discutir consiste num grande número de partículas de massa igual, distribuídas num círculo a intervalos angulares iguais e repelindo-se umas às outras com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância; no centro do círculo, está uma partícula de grande massa atraindo as outras partículas de acordo com a mesma lei de força. Se essas partículas em repulsão estão girando com aproximadamente a mesma velocidade em torno do centro que as atrai, o sistema será geralmente estável, para pequenas perturbações, desde que a força de atração seja suficientemente grande. O sistema difere do sistema saturniano analisado por Maxwell por ter partículas se repelindo e não satélites se atraindo. O presente caso será evidentemente realizado aproximadamente se substituirmos esses satélites por elétrons negativos e o centro atrativo por uma partícula carregada positivamente. As investigações sobre raios catódicos e radioatividade mostraram que este sistema é concebível como um átomo ideal."

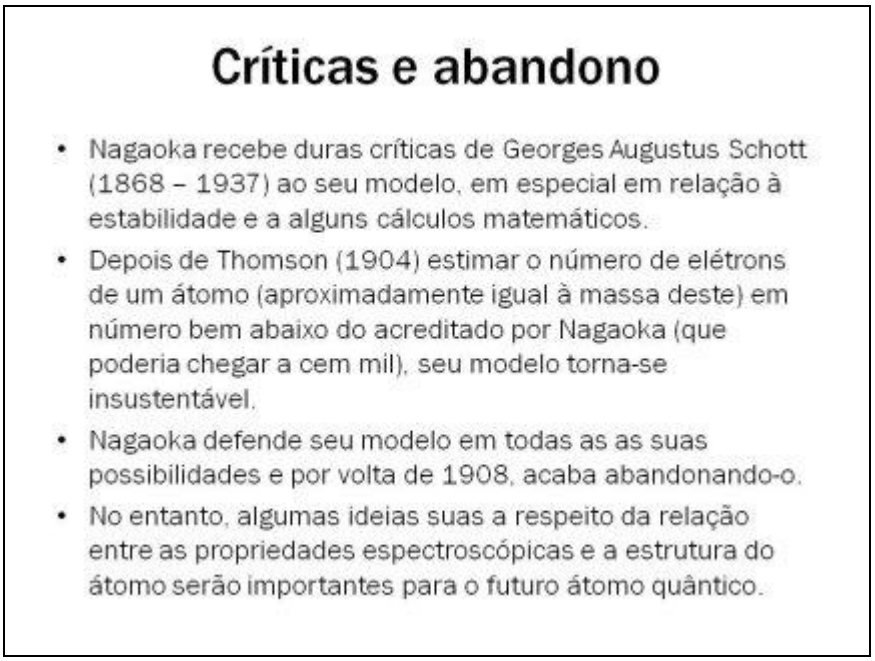
M2S9 – Slide 9



M2S10 – Slide 10



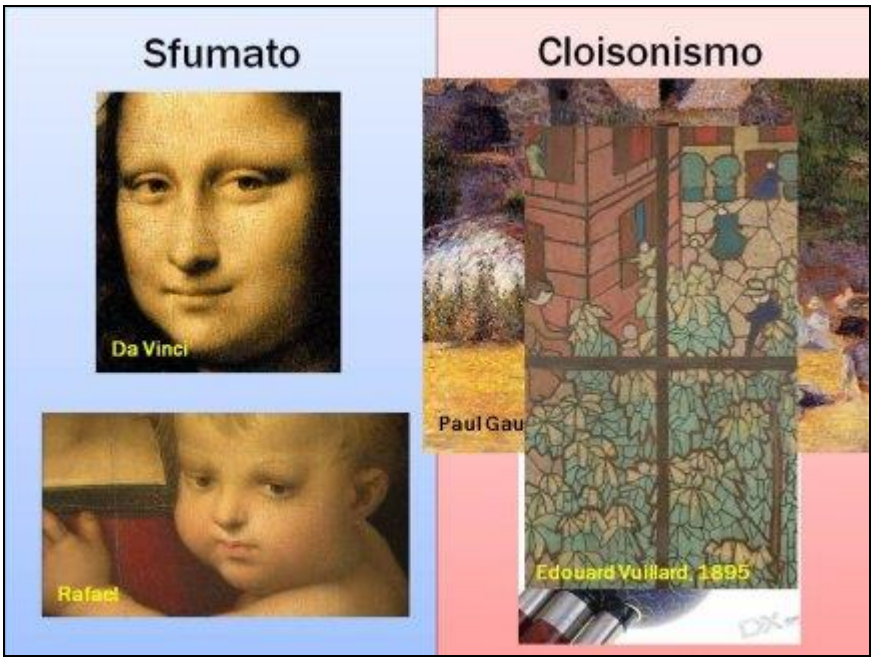
M2S11 – Slide 11



M2S12 – Slide 12



M2S13 – Slide 13



M2S14 – Slide 14



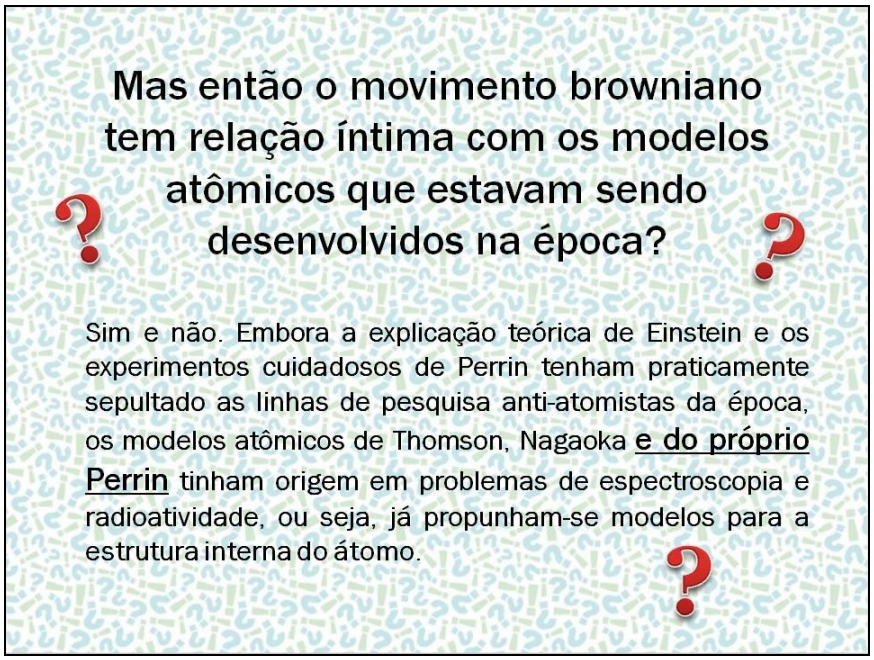
M2S15 – Slide 15



M2S16 – Slide 16



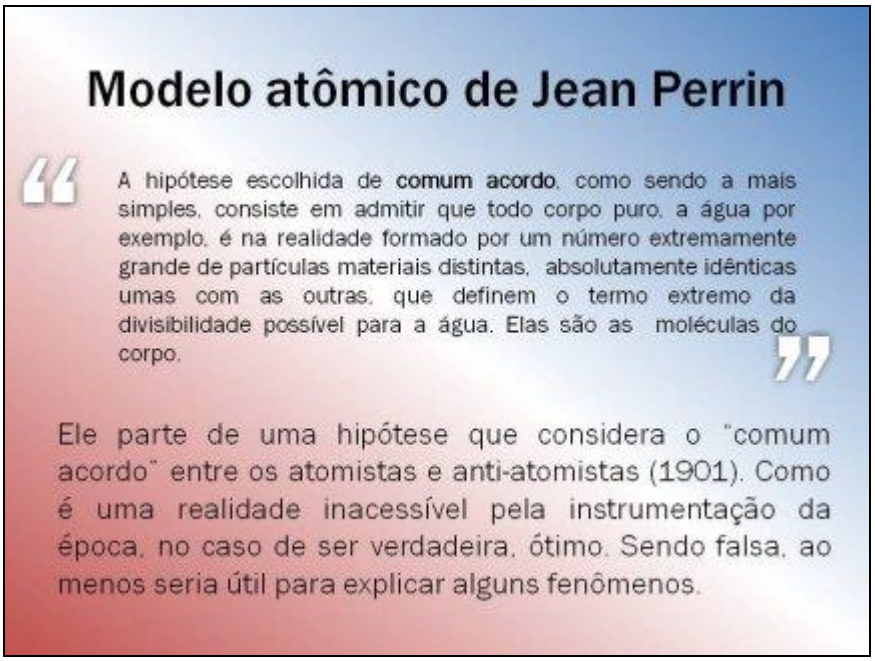
M2S17 – Slide 17



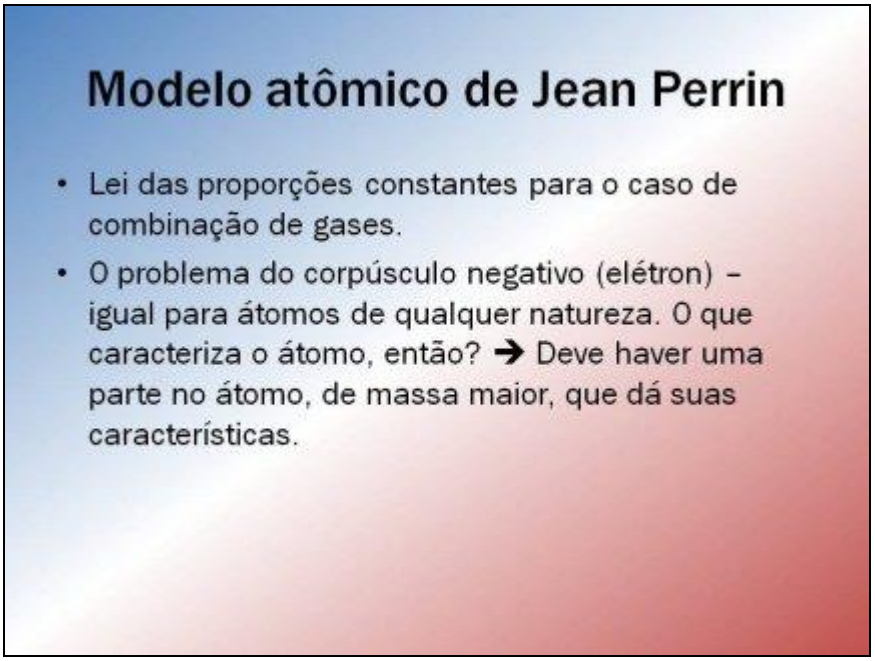
M2S18 – Slide 18



M2S19 – Slide 19



M2S20 – Slide 20



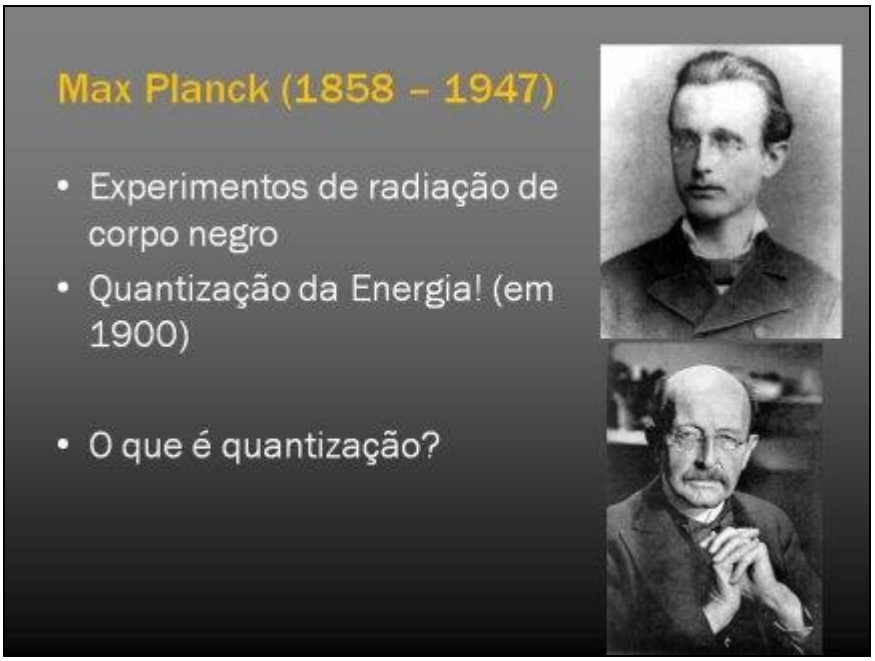
M2S21 – Slide 21



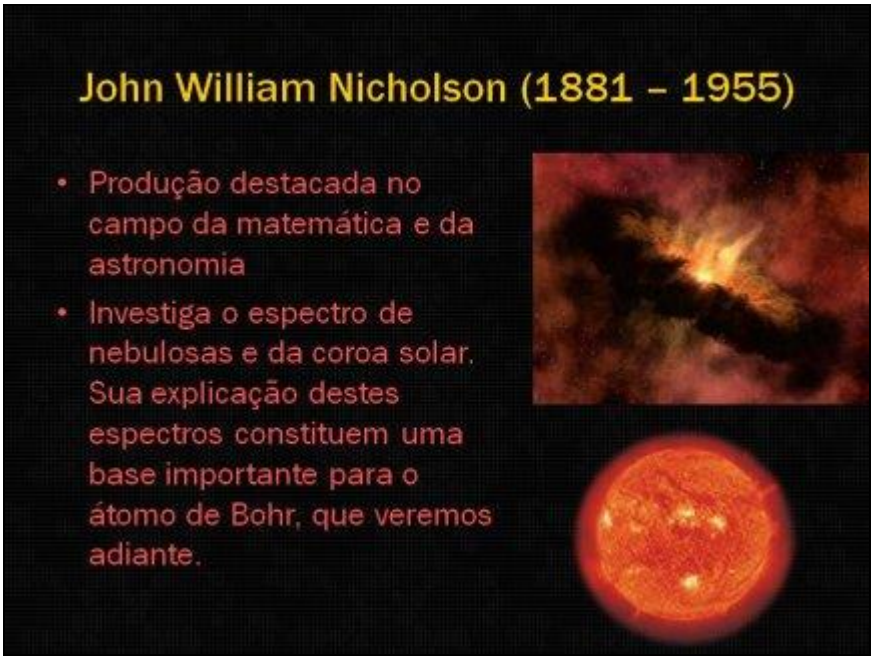
M2S22 – Slide 22



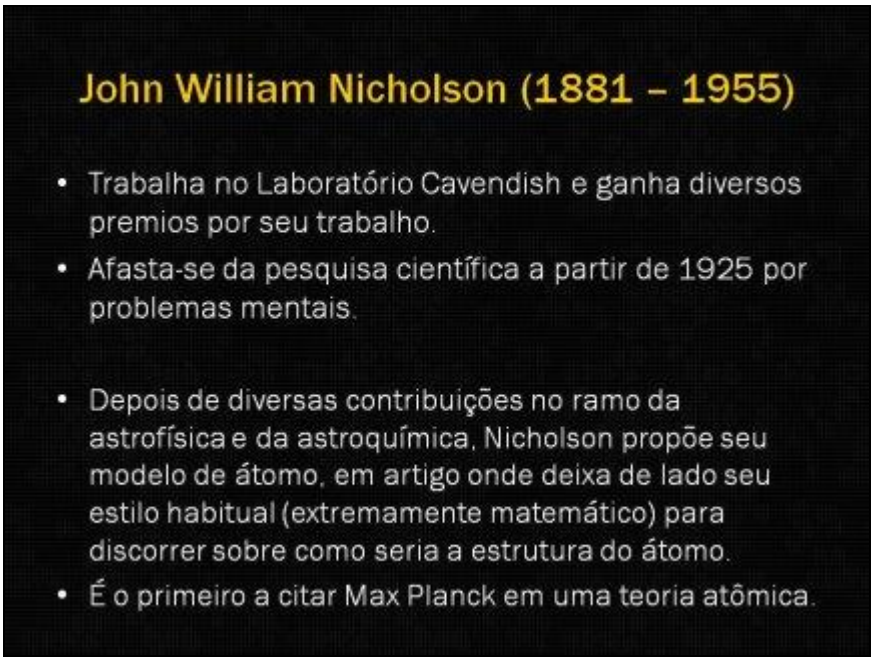
M2S23 – Slide 23



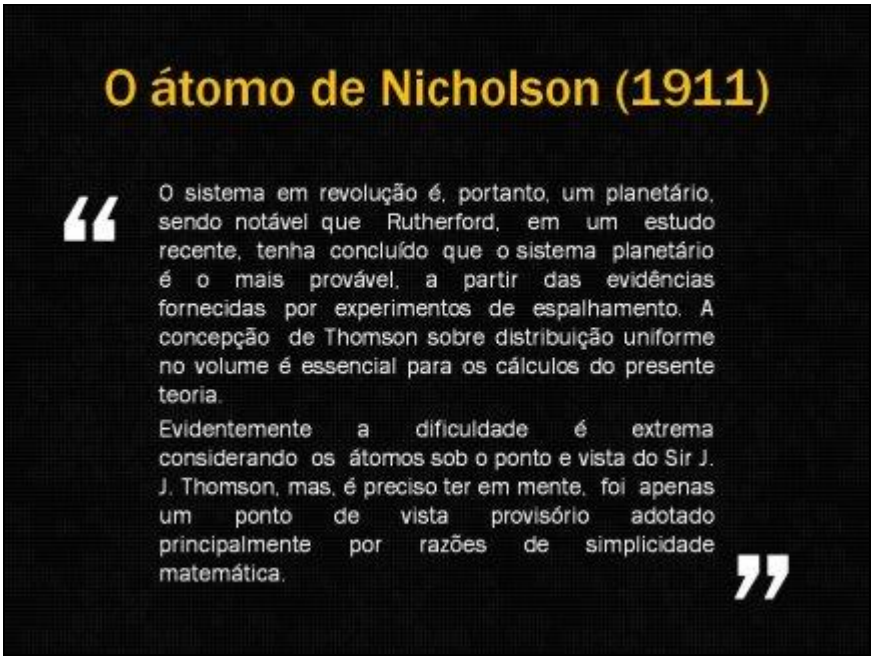
M2S24 – Slide 24



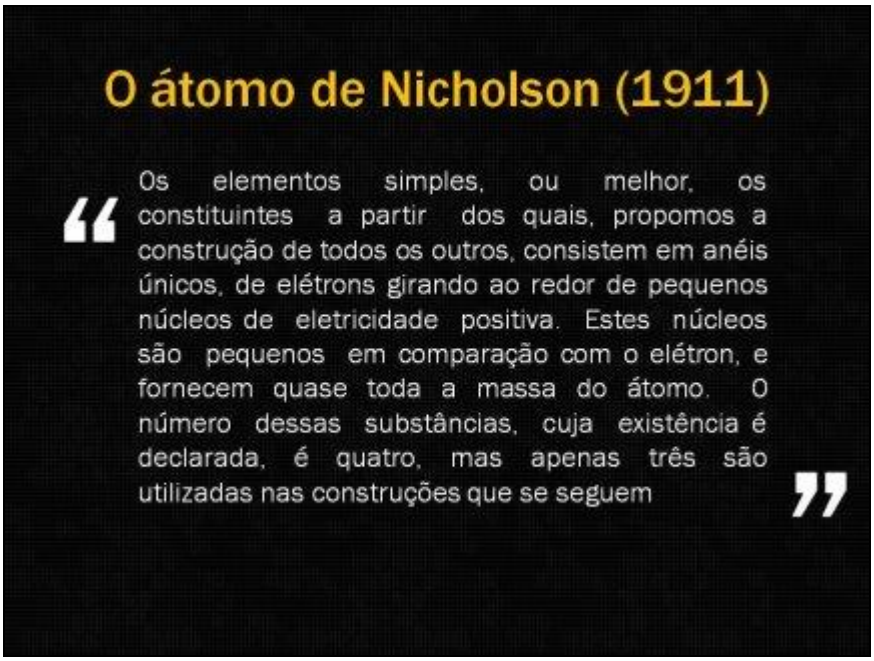
M2S25 – Slide 25



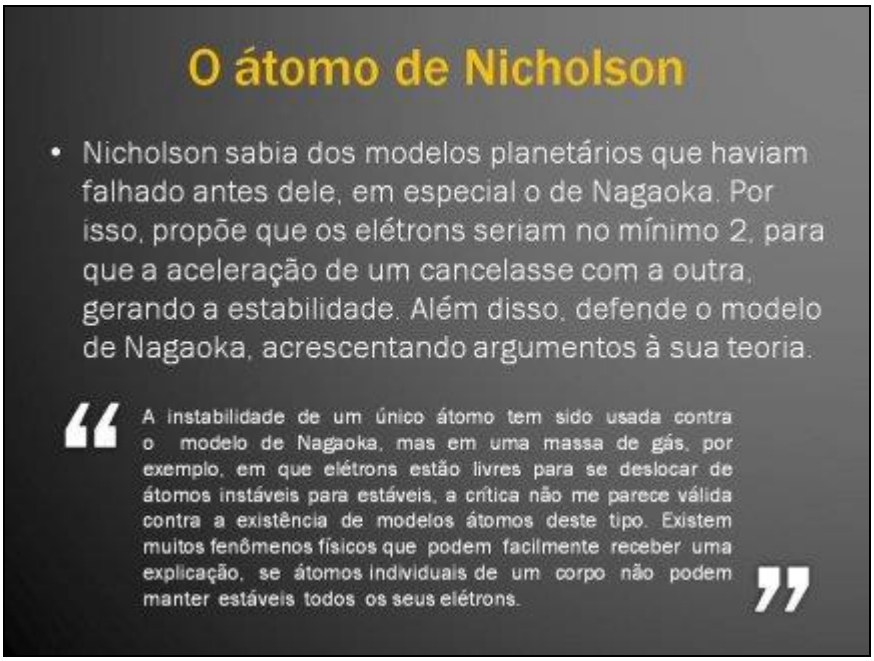
M2S26 – Slide 26



M2S27 – Slide 27



M2S28 – Slide 28



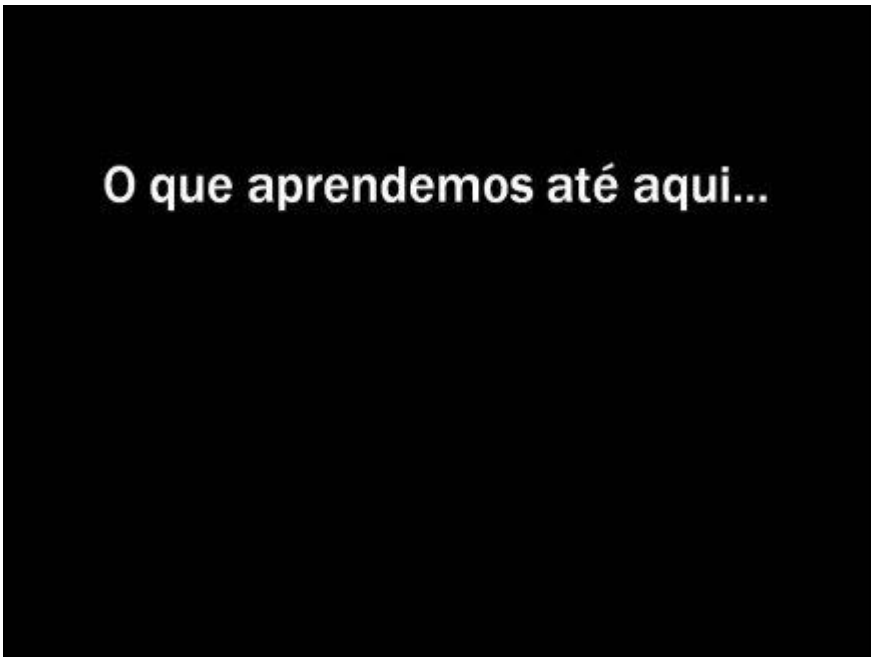
M2S29 – Slide 29



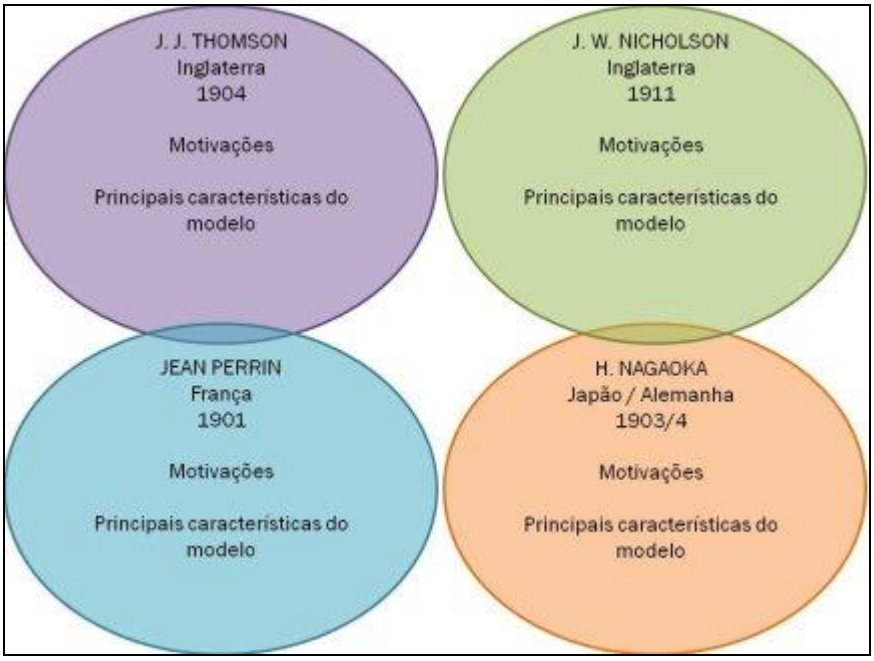
M2S30 – Slide 30



M2S31 – Slide 31



M2S32 – Slide 32



M2S33 – Slide 33

Podemos colocar alguns aspectos em uma tabela

Propositor	Ano	Ideias principais
Jean Perrin	1901	Átomo planetário (Um ou mais sóis positivos sendo orbitados por uma infinidade de corpúsculos negativos. A soma das cargas negativas era igual à carga positiva do centro)
H. Nagaoka	1904	Átomo saturniano (Grande massa no centro, de carga positiva, rodeada por eletrons negativos, de massas iguais entre si, que giravam em anel circular. As cargas não necessariamente se anulavam.)
J. J. Thomson	1904	Esfera de carga homogênea e positiva. Os elétrons estariam dentro dessa esfera, organizados em anéis cocêntricos e coplanares, orbitando em torno do centro.
J. W. Nicholson	1911	Outro átomo planetário (Massa no centro de carga positiva, que seria composta por alguns elementos primordiais. Elétrons orbitando em torno desta massa. Embora seja planetário, usa Thomson para justificar matematicamente)

M2S34 – Slide 34

Ernest Rutherford (1871 – 1937)

- Um pouco da biografia
  - Prêmio Nobel de Química em 1908.
  - Nasce em uma família pobre da Nova Zelândia, filho de imigrantes ingleses.
  - Tem desempenho destacado em ciências matemáticas.
  - Em 1895 é agraciado com uma bolsa destinado ao "maior talento científico da Nova Zelândia em qualquer área".



--- Vai trabalhar com J.J. Thomson no Laboratório Cavendish.

M2S35 – Slide 35

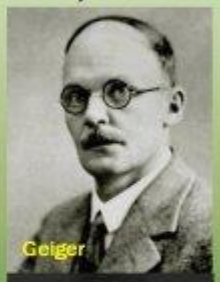
Ernest Rutherford (1871 – 1937)

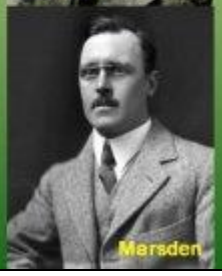
- Inicia a investigação sobre os raios-X (após a explicação destes por Röntgen).
- Entusiasma-se com a pesquisa e com o prof. J.J. Thomson, com quem possuiu uma relação bastante cordial.
- Em 1898, Rutherford vai para a Universidade McGill no Canadá sob fortes recomendações de Thomson, onde desenvolve importantes pesquisas sobre radioatividade com Frederick Soddy (1877 – 1956), que o levam ao Nobel de Química. Em 1907, vai para Manchester (ING).
  - Ele detecta e explica basicamente dois tipos de radiação: **alfa(α)**, um tipo de radiação facilmente absorvida; e a **beta(β)**, com maior poder penetrante.

M2S36 – Slide 36

Hans Geiger (1882 – 1945) e Ernest Marsden (1889 – 1970)

- Entre 1908-1910, são desenvolvidos métodos elétricos e cintilográficos para detecção de partículas radioativas(α, β)
- Contador Geiger (1913)
- Foram realizados muitos experimentos bombardeando finíssimas lâminas de diferentes metais com partículas alfa e beta. Os resultados obtidos com as partículas alfa foram surpreendentes e levaram à continuidade das investigações.


Geiger


Marsden

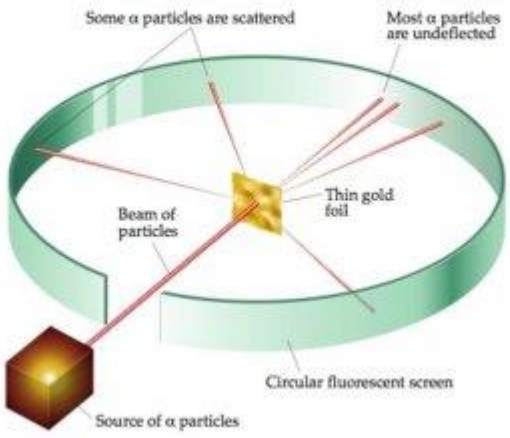
M2S37 – Slide 37

Rutherford:

"Um dia Geiger veio para mim e disse, 'Você não acha que o jovem Marsden, a quem estou treinando nos métodos radioativos, deveria começar uma pequena investigação?'. Agora, eu pensava que tinha também, então disse 'Por que não deixá-lo ver se algumas partículas alfa podem ser espalhadas através de grandes ângulos?' Eu posso lhe dizer, com confiança, que não acreditava que haveria, pois sabia que a partícula alfa era uma partícula maciça muito rápida, com muita energia, e você poderia mostrar que, se o espalhamento fosse devido ao efeito cumulativo de uma série de pequenos espalhamentos, a chance de uma partícula alfa ser espalhada para trás era muito pequena. Então eu me lembro que dois ou três dias mais tarde, Geiger veio até mim, com grande excitação, dizendo 'Nós fomos capazes de obter algumas das partículas alfa retornando para trás ...' Foi o evento mais incrível já aconteceu na minha vida. **Foi quase tão incrível quanto se você disparasse uma bala de 15 polegadas em pedaço de papel e ela voltasse e batesse em você**"

M2S38 – Slide 38

O experimento de Geiger e Marsden



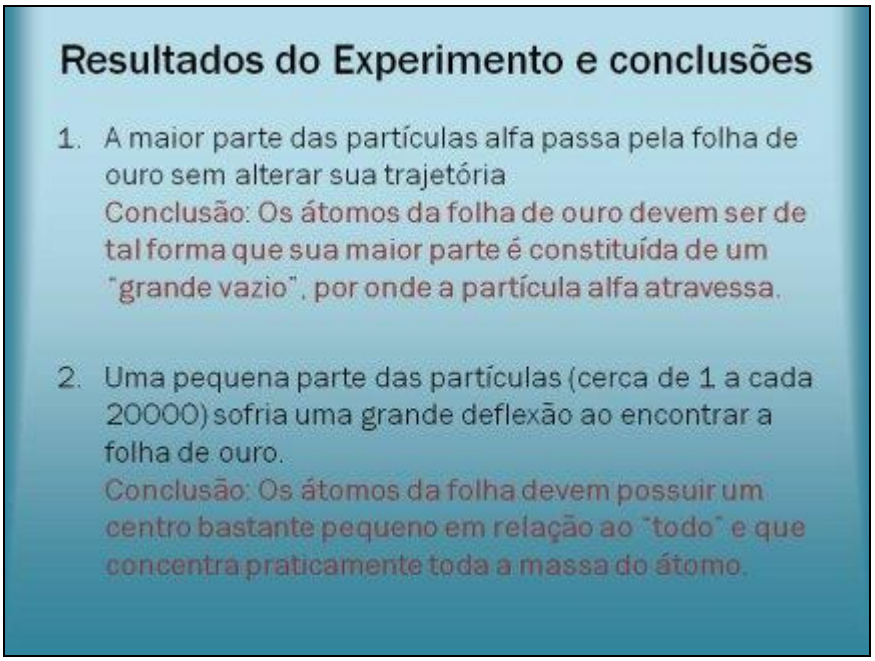
M2S39 – Slide 39



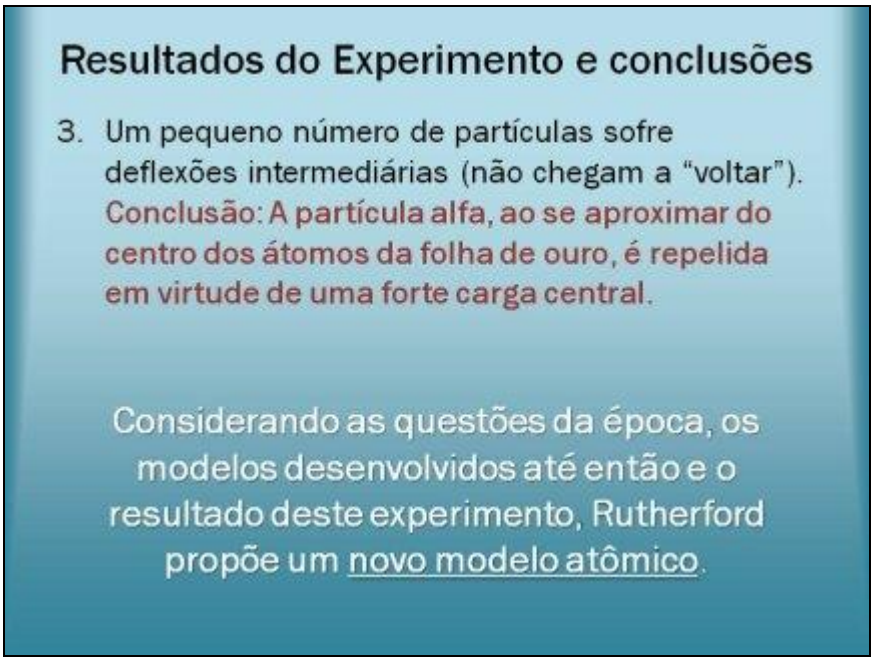
M2S40 – Slide 40



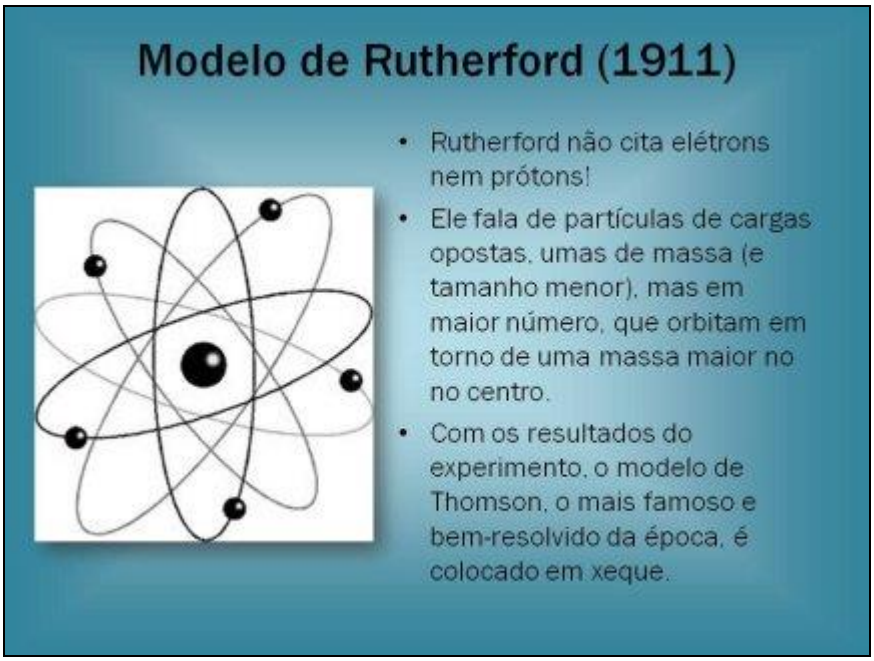
M2S41 – Slide 41



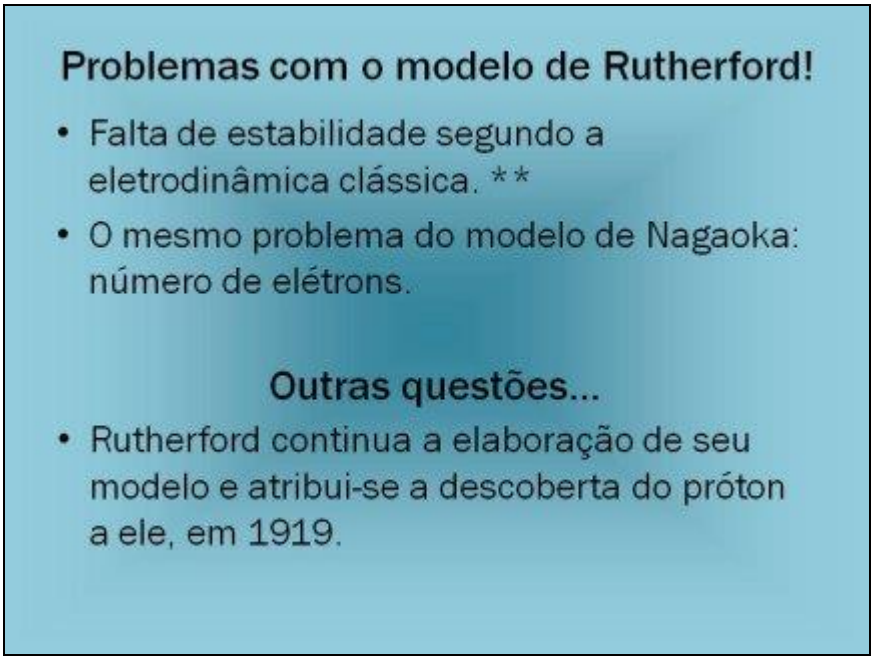
M2S42 – Slide 42



M2S43 – Slide 43



M2S44 – Slide 44



M2S45 – Slide 45

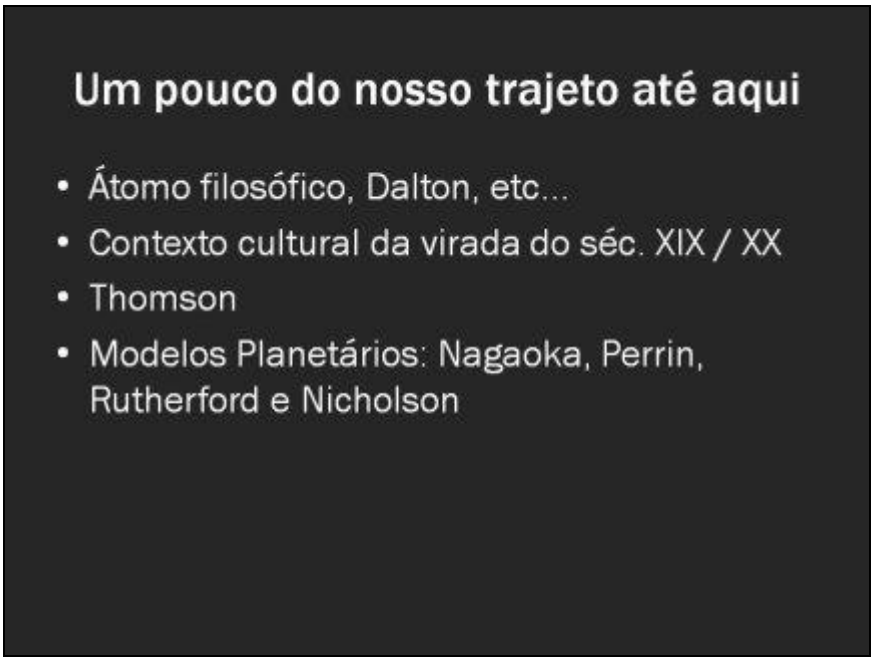


M2S46 – Slide 46

Apêndice 6 – *Slides* do Módulo 3



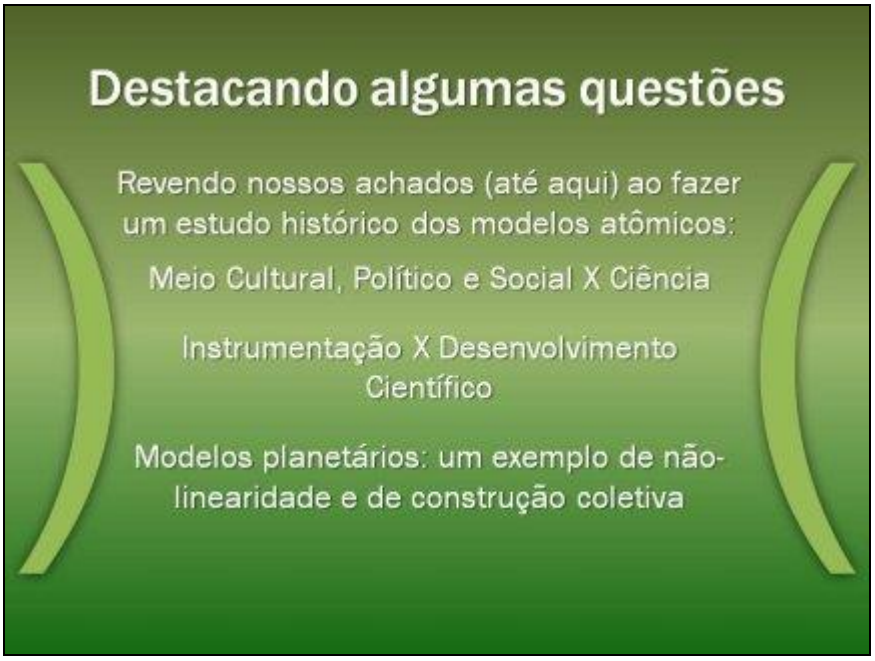
M3S1 – Slide 1



M3S2 – Slide 2



M3S3 – Slide 3



M3S4 – Slide 4

Niels Bohr (1885 – 1962)

- Nasceu (e morreu) em Copenhagen – Dinamarca.
- Filha de mãe judia e pai professor universitário (Univ. Copenhague) → atmosfera acadêmica em casa
- Conclui o doutorado em 1911, na própria Universidade de Copenhague.
- Em um trabalho puramente teórico, ele tentou explicar propriedades físicas dos metais a partir da teoria dos elétrons.

M3S5 – Slide 5

Niels Bohr (1885 – 1962)

- Teve muitas dificuldades com a eletrodinâmica convencional para construir sua tese. Em suas próprias palavras:

"Posso assumir que há forças na natureza de um tipo completamente diferente da mecânica usual."



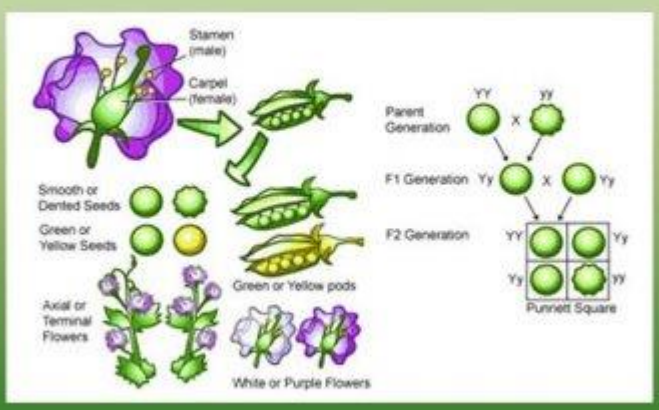
M3S6 – Slide 6

Niels Bohr (1885 – 1962)

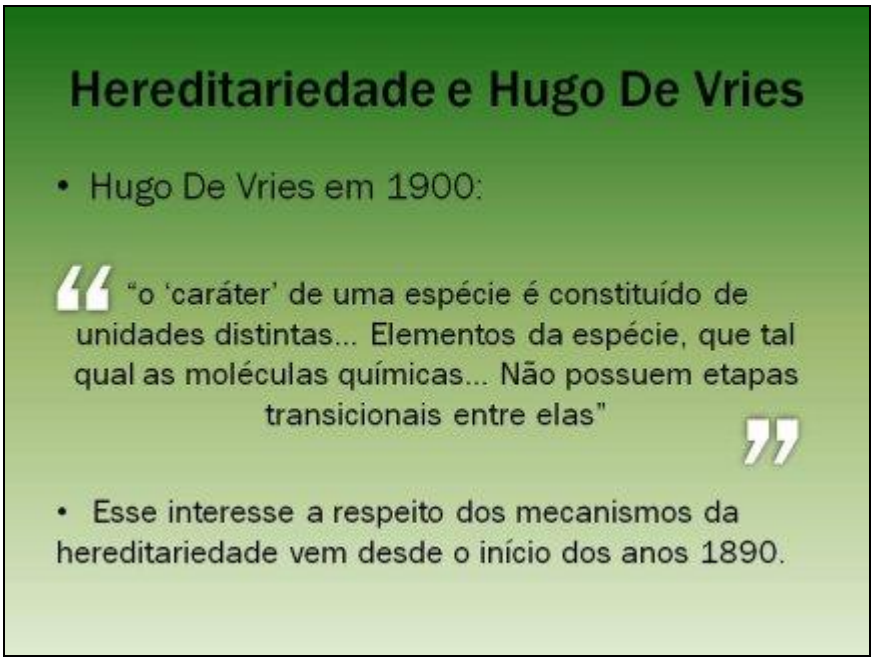
- Em 1911, após sua defesa de tese, vai trabalhar com JJ Thomson no Lab. Cavendish.
- Outros diversos cientistas, em 1911, publicaram artigos relacionando a idéia de Planck, da quantização da energia, para explicar questões da física da época. Bohr, provavelmente, teve acesso a esses artigos no próprio ano de publicação.
- Vai para Manchester, onde encontra com Rutherford, de quem fica amiga e por quem passa a ter grande admiração. Começa a estudar Radioatividade mas não abandona a sua linha.

M3S7 – Slide 7

Hereditariedade e Hugo De Vries



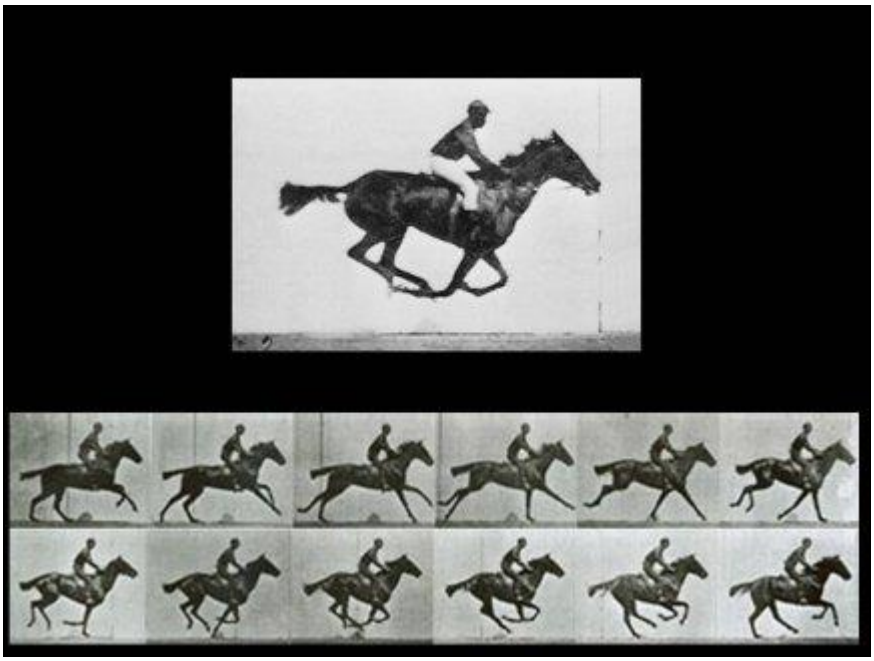
M3S8 – Slide 8



M3S9 – Slide 9



M3S10 – Slide 10



M3S11 – Slide 11

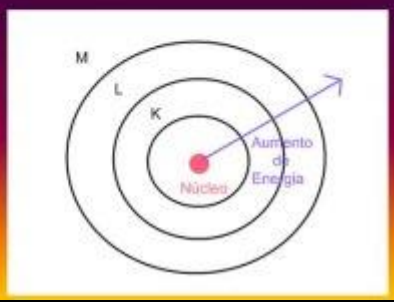


M3S12 – Slide 12

Postulados e premissas de Bohr (resumido e didático)

1. Os elétrons, nos átomos, movimentam-se ao redor do núcleo em trajetórias circulares, chamadas de camadas ou níveis. (A camada, ou nível, mais próxima do núcleo é designada pela letra K, a segunda pela letra L, a terceira pela letra M e assim sucessivamente.





M3S13 – Slide 13

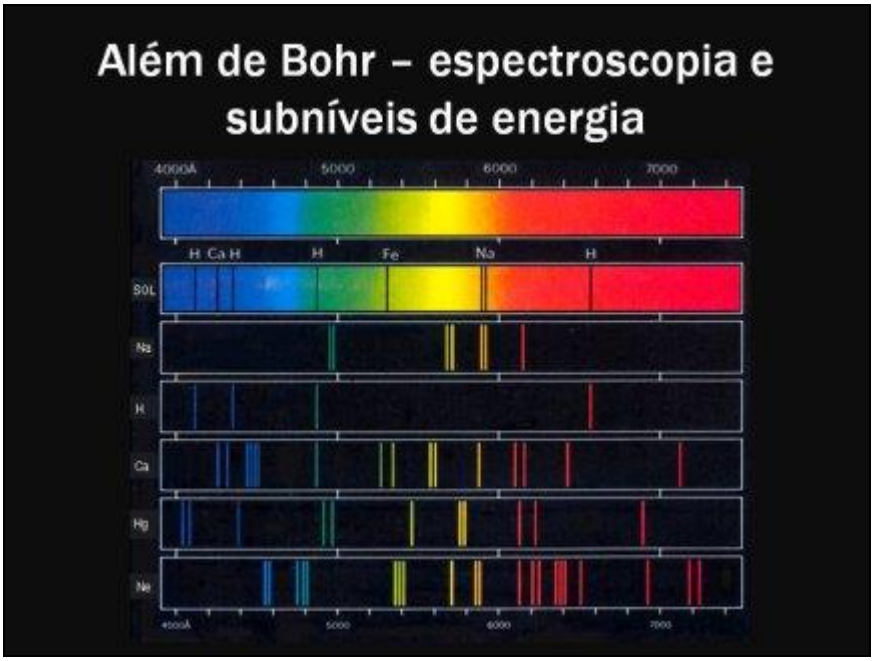
Postulados e premissas de Bohr

- Cada um desses níveis (ou camadas) tem um valor determinado de energia.
- Não é permitido a um elétron permanecer entre dois desses níveis.
- Um elétron pode passar de um nível para outro de maior energia, desde que absorva energia externa (ultravioleta, luz visível, etc). Quando isso acontece, dizemos que o elétron foi excitado e que ocorreu uma transição eletrônica.

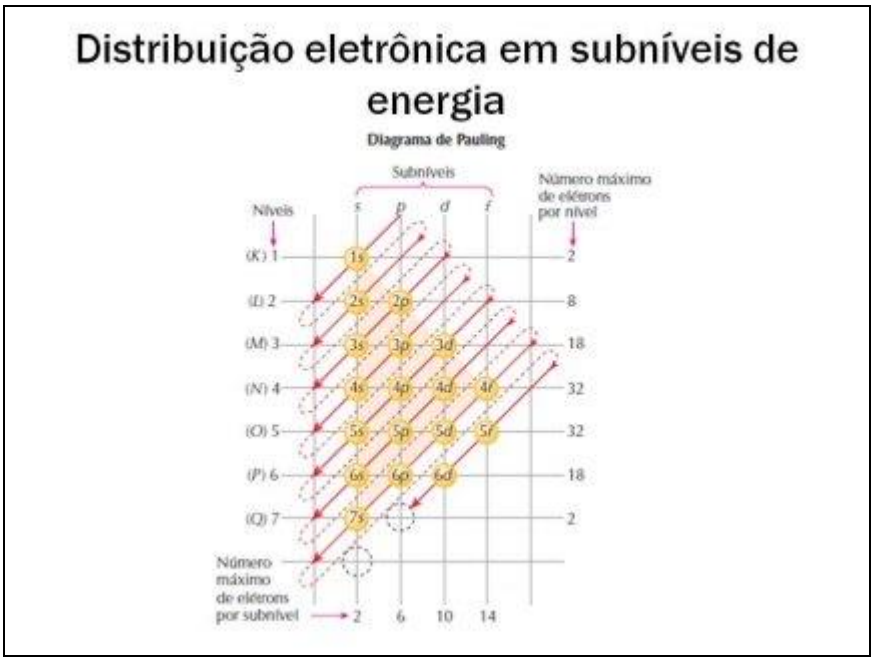
M3S14 – Slide 14



M3S15 – Slide 15



M3S16 – Slide 16



M3S17 – Slide 17



M3S18 – Slide 18



M3S19 – Slide 19



M3S20 – Slide 20



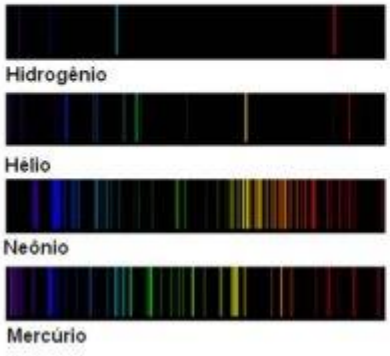
M3S21 – Slide 21

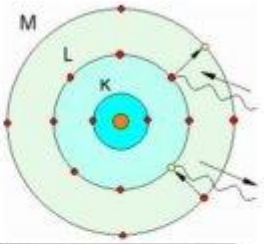


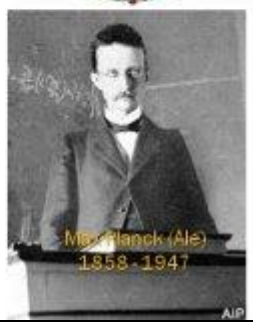
M3S22 – Slide 22

Alguns princípios da química quântica

- A energia é quantizada!





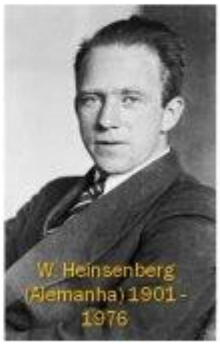


M3S23 – Slide 23

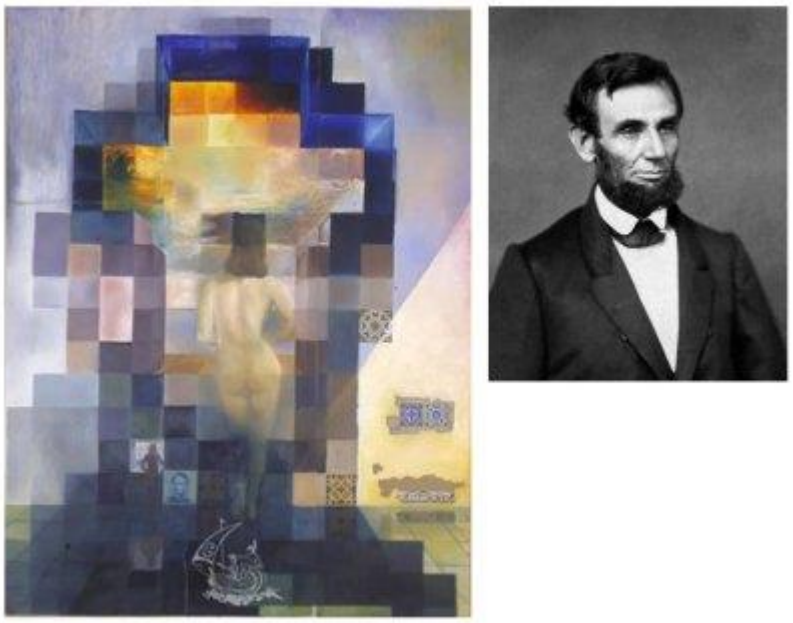
Quebrando paradigmas

- O princípio da Incerteza
- Questão da medida em MQ
- Trajetória?

$$\Delta\chi\Delta\rho \geq \frac{\hbar}{2}$$



M3S24 – Slide 24



M3S25 – Slide 25

Uma forma de enxergar a realidade

- A dualidade partícula-onda!

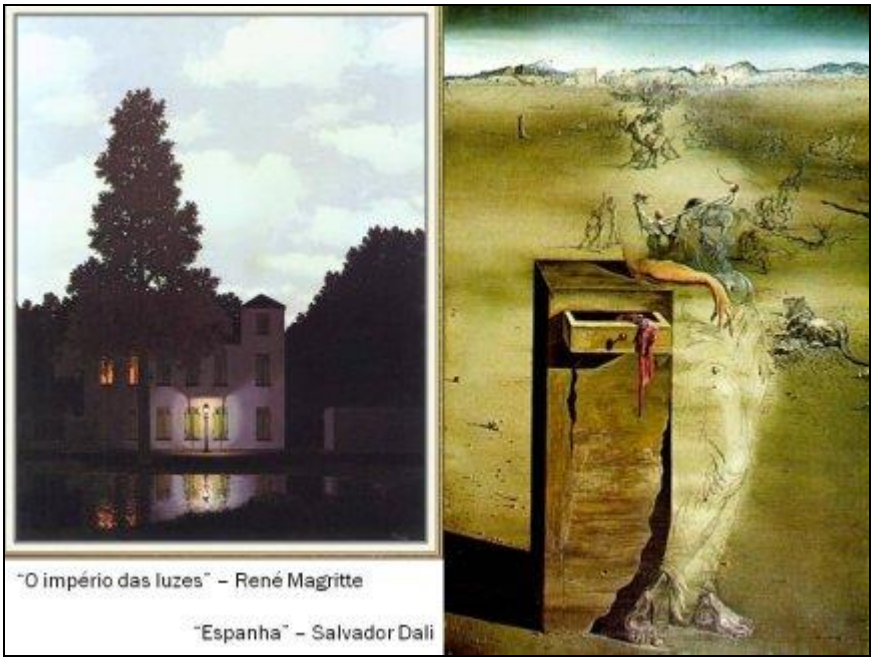
$$\lambda = \frac{h}{mv}$$



M3S26 – Slide 26



M3S27 – Slide 27



M3S28 – Slide 28

Alguns aspectos do modelo atômico orbital

- O que é um orbital?

$$\hat{\mathcal{H}}\psi(\mathbf{r}) = \left[-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V(\mathbf{r})\right]\psi(\mathbf{r}) = E\psi(\mathbf{r}).$$

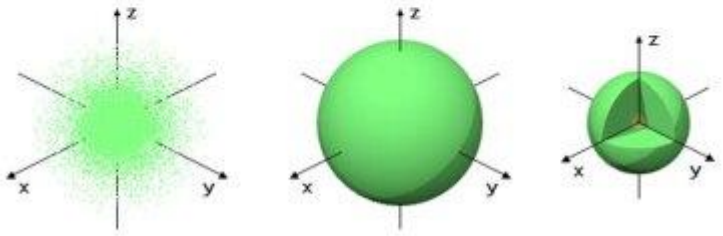
  – Função de onda para um elétron em um átomo

- Uma interpretação possível: região de probabilidade máxima de encontrar um elétron próximo a um átomo.

M3S29 – Slide 29

Alguns aspectos do modelo orbital

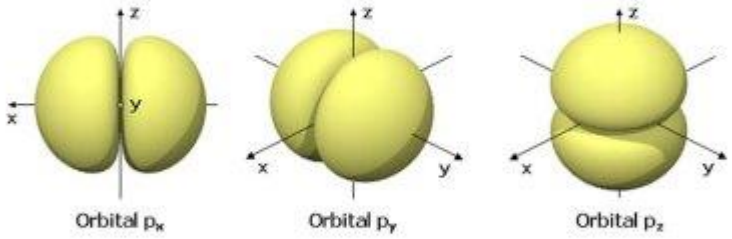
- Pelo princípio da exclusão de Pauli, cada orbital só pode no máximo ter 2 elétrons.
- Orbitais do subnível de tipo s:



M3S30 – Slide 30

Alguns aspectos do modelo orbital

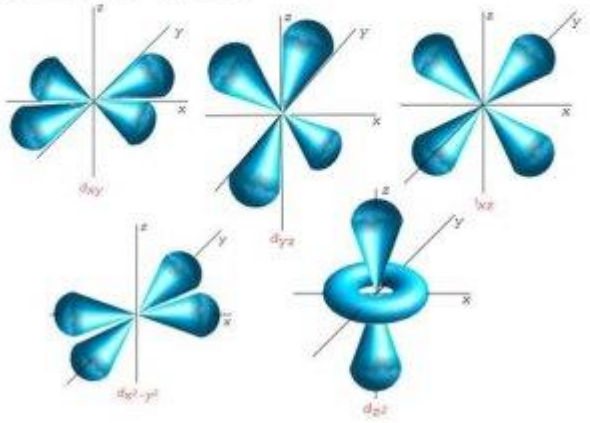
- Orbitais do tipo p



M3S31 – Slide 31

Alguns aspectos do modelo orbital

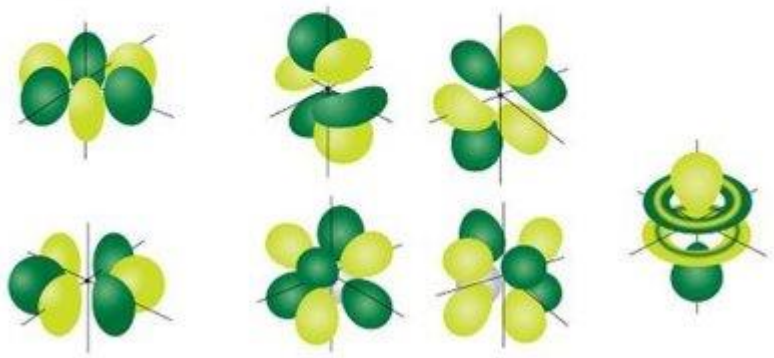
- Orbitais do tipo d



M3S32 – Slide 32

Alguns aspectos do modelo orbital

- Orbitais do tipo f

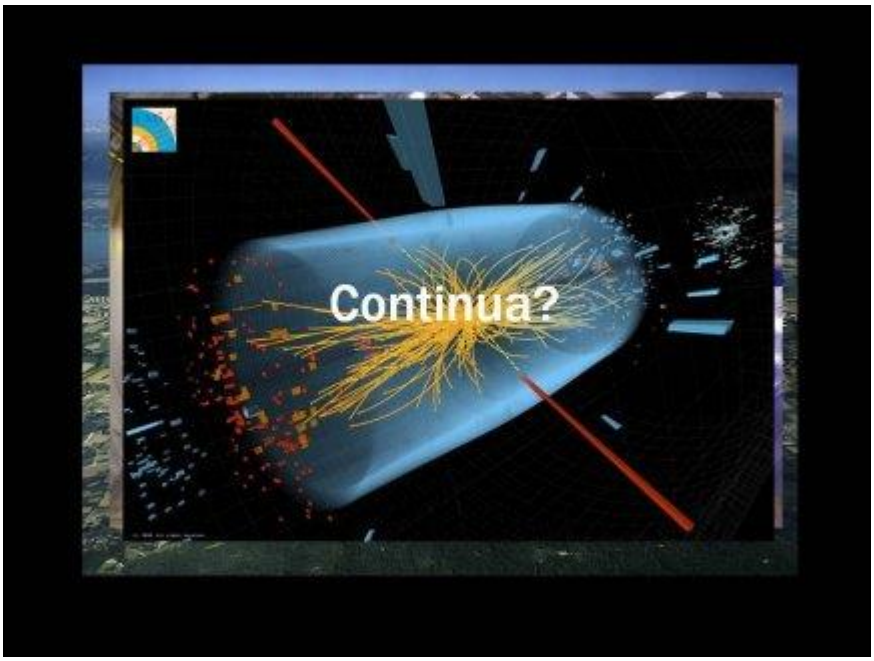


M3S33 – Slide 33

Afinal, o que é um modelo?

- Modelo vs. realidade
- Modelo vs. o contexto em que é criado
- Temporalidade dos modelos
- Limite explicativo dos modelos
- Baseia-se em?

M3S34 – Slide 34



M3S35 – Slide 35