



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO INCLINADO
COMO OBJETO DA CINEMÁTICA GALILEANA E FACILITADOR DA
APRENDIZAGEM EM FÍSICA: UMA REAPROXIMAÇÃO ENTRE HISTÓRIA DA
CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIA**

JOSÉ FRANCISCO MARTINS DE SOUSA

Teresina - PI
Novembro de 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO INCLINADO
COMO OBJETO DA CINEMÁTICA GALILEANA E FACILITADOR DA
APRENDIZAGEM EM FÍSICA: UMA REAPROXIMAÇÃO ENTRE HISTÓRIA DA
CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIA**

JOSÉ FRANCISCO MARTINS DE SOUSA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Piauí no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Francisco F. Barbosa Filho

Teresina - PI
Novembro de 2016

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO INCLINADO COMO
OBJETO DA CINEMÁTICA GALILEANA E FACILITADOR DA APRENDIZAGEM EM
FÍSICA: UMA REAPROXIMAÇÃO ENTRE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE
CIÊNCIA**

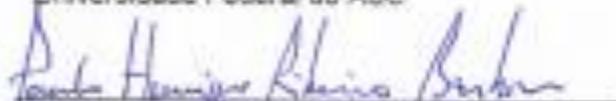
JOSÉ FRANCISCO MARTINS DE SOUSA

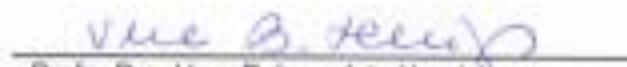
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Piauí no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada pela banca examinadora:


Prof. Dr. Francisco Ferreira Barbosa Filho
Universidade Federal do Piauí, Orientador


Prof. Dr. Nelson Studart Filho
Universidade Federal do ABC


Prof. Dr. Paulo Henrique Ribeiro Barbosa
Universidade Federal do Piauí


Prof. Dra. Vera Bohomoletz Henriques
Instituto de Física - USP

Teresina - PI
Novembro de 2016

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processamento Técnico

S725p Sousa, José Francisco Martins de.
Uma proposta didática para implementação do Plano Inclinado como objeto da Cinemática Galileana e facilitador da aprendizagem em Física : uma reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciência / José Francisco Martins de Sousa. -- 2016.
197 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências da Natureza, Programa De Pós-Graduação em Ensino de Física, Teresina, 2016.

“Orientação: Prof. Dr. Francisco F. Barbosa Filho.”

1. Ensino de Física. 2. Ciências – Estudo e ensino. 3. Plano Inclinado. 4. Cinemática Galileana. 5. Galilei, Galileu. I. Título.

CDD 530.07

Dedico este trabalho a quem esteve presente, com
respeito, compreensão e amor: à minha esposa Lídia
Suêmia.

Agradecimentos

Uma descoberta que fiz durante esta jornada foi que um homem não pode caminhar sozinho. Não se trata de uma escolha, mas está em nosso ser, na nossa natureza, porque somos assim, vivendo e compartilhando com o próximo, com o amigo e com a família nossa própria vida.

Se concluir é bom, então imagine agradecer!

Para chegar foi preciso caminhar. Contudo, para caminhar foi preciso existir: agradeço ao Criador, em primeiro lugar, por existir e ter amigo por onde passei.

A segunda pessoa a quem faço meus agradecimentos é ao meu orientador Prof^o Dr. Francisco Barbosa (O Chicão), que de tanto andarmos juntos por este departamento nos tornamos companheiros.

À terceira “pessoas” representada pelos professores do Mestrado, principalmente por abraçarem o Programa, fundamental e necessário para o Ensino de Física em nossa região. E à prof^a Mônica que sempre esteve presente nas discussões dos Seminários. Não posso esquecer de agradecer ao prof^o Boniek Venceslau pelas boas sugestões.

Aos colegas da turma do Mestrado (2014 e 2015), aos companheiros da Casa de Santa Inês (aos que já foram, aos que ficaram e aos que chegaram), aos velhos amigos de Caxias e aos de Teresina. Mesmo sem saberem, contribuíram para hoje eu está aqui.

À Capes pelo apoio financeiro.

É difícil dizer qual poderá ser no futuro a influência de uma cultura geral mais impregnada de espírito científico e na qual a história das ideias teria um papel mais importante do que tem hoje, mas deve-se ter confiança em tudo que possa dar à criança um sentido mais preciso do esforço coletivo e dos laços vivos que unem o presente ao passado.

Paulo Langevin

RESUMO

Na presente pesquisa buscou-se reaproximar a História da Ciência do Ensino de Ciência, através de textos históricos e da experimentação. Com o objetivo de verificar o contexto social, cultural e político de algumas descobertas científicas feitas por Galileu Galilei, gerando momentos de maior reflexão, crítica e motivação no estudo da Ciência, em especial de Física, e promovendo a alfabetização científica dos estudantes, a partir da discussão de fatos históricos essenciais no estabelecimento da Cinemática Galileana, foi desenvolvida esta proposta didática, resgatando o Plano Inclinado de Galileu e o contexto de suas descobertas. Pesquisadores no Ensino de Física têm apontado a História da Ciência e o laboratório como ferramentas em potencial, quando se trata de melhorias no ensino de Física. Desta forma, destaca-se como produto educacional da pesquisa a proposta didática transcrita de forma clara e objetiva com todos os elementos necessários a uma aprendizagem duradoura, dentro de um contexto de interação social. A proposta foi executada em cinco passos ou cinco momentos de aprendizagem e os dados, falas transcritas dos alunos e respostas às questões aplicadas, foram analisados segundo elementos da teoria sócio-interacionista de Vygotsky. No registro das falas tornou-se evidente a mediação entre a cultura científica e a cultura do senso comum, executada pelo professor-pesquisador ao participar do processo diretamente ou mesmo indiretamente, quando foi mantida essa intervenção através dos textos históricos. O presente estudo torna-se relevante ao mostrar uma Ciência como construção histórica, humana e viva, com conhecimentos abertos e sujeitos a reformulações.

Palavras-chave: Ensino de Física, Plano Inclinado, Cinemática Galileana.

ABSTRACT

In this study we sought to reconnect the History of Science of Science Teaching through historical texts and experimentation. In order to check the social, cultural and political development of some scientific discoveries made by Galileo Galilei, creating moments of reflection, critique and motivation in the Science study, especially physics, and promoting scientific literacy of students from discussion of key historical facts in establishing the Galilean kinematics, this didactic proposal was developed, rescuing the Galileo's Inclined Plane and the context of their findings. Researchers in Physics Teaching have pointed out the history of science and the laboratory as potential tools when it comes to improvements in teaching physics. In this way, it stands out as an educational research product didactic proposal transcribed clearly and objectively with all the elements necessary for lifelong learning, within a context of social interaction. The proposal was carried out in five steps or five times learning and data, transcribed speeches of the students and answers to applied questions were analyzed according to elements of social-interactive theory of Vygotsky. In the record of the speeches it became apparent mediation between scientific culture and common sense of culture, performed by the teacher-researcher to participate in the process directly or indirectly, when it was held that intervention through the historical texts. This study becomes relevant to show a science as historical, human and living building with open knowledge and subject to reformulations.

Keywords: Physics Teaching, Inclined Plane, Galilean Kinematics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tempos de queda medidos para altura de 51 cm, em todo o plano

Tabela 2: Tempos de queda medidos para altura de 48 cm, em todo o plano

Tabela 3: Medida dos tempos de queda para diferentes comprimentos e altura de 51 cm

Tabela 4: Medida dos tempos de queda para diferentes comprimentos e altura de 48 cm

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Competências e Habilidades desenvolvidas em física (PCNEM)

Quadro 2: Momento de Aprendizagem – Passo 1

Quadro 3: Momento de Aprendizagem – Passo 2

Quadro 4: Momento de Aprendizagem – Passo 3

Quadro 5: Momento de Aprendizagem – Passo 4

Quadro 6: Momento de Aprendizagem – Passo 5

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O movimento de projéteis, segundo Aristóteles

Figura 2: Teorema da Velocidade Média

Figura 3: Foto da fachada do IFMA – Campus Santa Inês

Figura 4: Busto do filósofo Aristóteles

Figura 5: A teoria dos quatro elementos e dos lugares naturais

Figura 6: Teorema da Velocidade Média

Figura 7: A teoria dos quatro elementos e dos lugares naturais

Figura 8: O movimento de projéteis, segundo Aristóteles

Figura 9: Galileu em sua velhice

Figura 10: Imagem do livro Diálogo

Figura 11: Imagem do livro Duas Novas Ciências

Figura 12: Desenho ilustrando a queda de duas bolas da Torre de Pisa

LISTA DE SIGLAS

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física

Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

NdC – Natureza da Ciência

URSS – União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

EUA – Estados Unidos da América

AAAS – Associação Americana para o Progresso da Ciência

HFC – História e Filosofia da Ciência

NCC – Conselho de Currículo Nacional

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

LD – Livro Didático

PSSC – Physical Science Study Committee

PEF – Projeto de Ensino de Física

FAI – Física Auto-Instrutiva

LDB – Lei de Diretrizes da Educação Básica

AC – Alfabetização Científica

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão

PARFOR – Plano Nacional de Formação de Professores da Educação Básica

ZDI – Zona de Desenvolvimento Imediato

TAC – Texto Auxiliar Contextualizado

EDUFBA – Editora da Universidade Federal da Bahia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA	19
2.1 A institucionalização da História da Ciência	19
2.2 A História e o Ensino de Ciências: superando os desafios	28
2.3 A Cinemática de Galileu: alguns mitos e verdades	36
3 PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA	51
3.1 O ensino experimental: origens e alternativas	51
3.2 Habilidades e competências no laboratório: pensando nos PCNEM	54
3.3 Alfabetizando cientificamente na prática experimental	58
3.4 Delimitando a prática: experimentos históricos	62
4 A TEORIA DE VYGOTSKY	74
4.1 Elementos da teoria de Vygotsky	75
4.2 O papel do professor na interação escolar	80
4.3 As práticas experimentais numa perspectiva vygotskyana	82
5 METODOLOGIA	85
5.1 Identificando o campo de pesquisa	85
5.2 Implementação da proposta didática	86
5.2.1 Momento de aprendizagem: Passo 1	90
5.2.2 Momento de aprendizagem: Passo 2	91
5.2.3 Momento de aprendizagem: Passo 3	91
5.2.4 Momento de aprendizagem: Passo 4	92
5.2.5 Momento de aprendizagem: Passo 5	92
5.3 Registro da atividade em sala de aula	93
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
7 CONCLUSÕES	119
BIBLIOGRAFIA	124
APÊNDICES	129

1 INTRODUÇÃO

No âmbito desta pesquisa encontra-se a trajetória acadêmica dos próprios participantes, seja professor-pesquisador ou aluno, cada qual desempenhando uma função dentro do grupo. A do professor-pesquisador tem uma forte relação com a Física e com seu ensino e, mais recentemente, com a História da Ciência. Com a Física teve início na Graduação em Física, um período que vai de outubro de 2006 na Universidade Federal do Piauí (UFPI), em Teresina, até o presente momento. Tempos difíceis, de luta, de angústias, mas de superação e alegrias. A trajetória no Ensino de Física iniciou-se no ano de 2010, enquanto professor efetivo na Rede Estadual de Educação do Piauí e também da Rede Estadual de Educação do Maranhão. O IFMA surge mais tarde, mais precisamente há quatro anos. Todos estes caminhos culminam para esta pesquisa, pois sempre esteve em primeiro lugar a busca por qualidade nas aulas de Física, testando estratégias e diferentes formas de avaliar os conhecimentos dos estudantes.

O contato com o Ensino de Física trouxe uma insatisfação com os resultados de aulas meramente expositivas, fundamentadas no livro didático, num ensino puramente tradicional, memorístico e conteudista. Aos poucos a vivência com outros professores, além de novas experiências, como a especialização em Docência do Ensino de Física, a disciplina *Instrumentação para o Ensino de Física* no IFMA para a graduação, permitiu uma reflexão a respeito de estratégias alternativas, mais eficientes. Foi neste contexto que a temática *Laboratório Didático* ganhou destaque, desde então, nas aulas ministradas tanto para as turmas do Ensino Básico como para turmas do Ensino Superior. A oportunidade do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), em rede, pela primeira turma do Polo UFPI, foi peça chave na escolha da temática desta pesquisa. As leituras construídas na disciplina *Marcos no Desenvolvimento da Física*, ministrada pelo prof^o Francisco Barbosa, abriu um leque de possibilidades de elementos teóricos capazes de fundamentar e concretizar este trabalho. Os encontros nos seminários das sextas-feiras onde discutimos artigos relacionados à temática de cada trabalho, trouxeram informações relevantes, críticas construtivas, sugestões e novos olhares.

Na tentativa de atingir o objetivo de reaproximar a História da Ciência do Ensino de Ciência, mais especificamente de Física, nas aulas da educação básica, planejamos e executamos uma *Proposta Didática*, partindo da inserção de textos sobre a história da Cinemática e práticas experimentais, com questionamentos e análise das falas dos participantes da pesquisa, almejando a enculturação científica dos mesmos, além de um melhor entendimento de aspectos pertinentes à própria natureza da Ciência (NdC) e assimilação de alguns conceitos de Cinemática. Entende-se aqui como enculturação científica a apropriação e uso dos conhecimentos científicos nas diferentes esferas da vida do estudante (CARVALHO *et al*, 2010) e NdC os diferentes aspectos da ciência, que dizem respeito às suas relações com a sociedade, a cultura, e o homem, além de seus próprios métodos de investigação, à produção do conhecimento, dito científico, dentre outros (PEDUZZI *et al*, 2012).

No entanto, para que todos estes objetivos fossem alcançados foi necessário uma pesquisa bibliográfica de temáticas como História da Ciência, laboratório didático, Ensino de Física, Cinemática, experimentos históricos, entre outras. Após avanços e retrocessos, negociações e orientações, foi possível criar uma metodologia para a citada reaproximação, que consistiu da presente proposta didática, dividida e executada em cinco passos em diferentes momentos de aprendizagem (veja o apêndice A). Explorar a temática *Experimentos Históricos* foi uma alternativa que se concretizou na presente pesquisa. O *Plano Inclinado de Galileu* foi o experimento eleito para tal função por diversos motivos, dentre os quais destacamos a viabilidade em produzir um experimento com modificações sem alterar substancialmente os resultados, a riqueza cultural deste aparato, sua fácil montagem e execução, a simplicidade e o momento histórico em que foi idealizado, contexto crucial para o surgimento do que hoje denomina-se Ciência Moderna. Além disto, vale ressaltar que outras pesquisas foram realizadas, com êxito, na reconstrução deste experimento¹.

¹ Há três principais trabalhos consultados. O primeiro pertence a Straulino (2008), professor do Departamento de Física da Universidade de Florença, Itália. Este pesquisador, por meio de adaptações, aplicou uma estratégia didática com o plano inclinado, objetivando contextualizar o conteúdo e motivar os alunos no estudo de Ciências. Um segundo trabalho, de autoria de SANTOS (2013), apontou que as situações de aprendizagem, apoiadas na reconstrução do experimento do Plano Inclinado de Galileu,

A produção de textos não se mostrou uma tarefa fácil e, como forma de dificultar o andamento do trabalho, as leituras realizadas demonstraram os riscos e problemáticas junto a uma produção desta natureza. A História da Ciência como campo do conhecimento é institucionalizada no início do século XX, apesar que diversas obras já haviam sido escritas com centro de interesse nessa história, como veremos no capítulo 2 que trata da História da Ciência. No entanto, ao avançar na leitura do capítulo, percebemos que a maioria das obras publicadas até então tinham o propósito de registrar pontualmente as grandes descobertas, os grandes feitos dos “gênios” da Ciência. Ou seja, estas obras respondiam aos anseios de uma corrente historiográfica positivista, ou neopositivista, internalista e eletista, deixando marginalizada a história de outros campos do conhecimento como a magia, a astrologia, a alquimia etc., negando suas próprias origens.

Conscientes de tal realidade, nesta produção buscamos uma posição contrária a esta, reservando um lugar relevante às verdadeiras raízes, às várias influências, sejam internas ou externas ao próprio conhecimento, não reduzindo a História da Ciência, no caso a História da Cinemática, a datas, nomes ou argumentos autoritários, sem marginalizar outras formas de interpretar os fatos. Foram produzidos um total de três textos para a proposta didática (apêndice A) – contendo Texto 1: “As Raízes Históricas da Cinemática”, Texto 2: “As Raízes Históricas da Queda Livre” e Texto 3: “O Plano Inclinado de Galileu – Objeto da Cinemática Galileana”, além dos questionamentos. Os estudantes realizaram a leitura dos textos e responderam aos questionamentos elaborados. Além disto, há mais dois passos compondo a proposta, um com orientações para a intervenção pedagógica (voltada para professores que desejam usá-la) e outro contendo questões de Física, as quais foram aplicadas no último momento de aprendizagem da pesquisa e os resultados foram analisados pelo professor-pesquisador.

A escolha do experimento histórico do plano inclinado de Galileu veio ao encontro dos anseios desta pesquisa. Tanto trazer elementos da História da

sugeriram indicadores numa aprendizagem efetiva dos conceitos de Física. O último, consistiu no uso das propriedades do movimento no plano inclinado, demonstradas por meio da simulação no *Modelus*, para efetivar a aprendizagem de conceitos cinemáticos (PAULA, 2006). Os três trabalhos também indicam que tais atividade com o plano contibuem para um entendimento da própria natureza da ciência.

Ciência como realizar uma abordagem experimental foi possível, graças a temática e o experimento estarem estreitamente ligados. Contudo, a prática aqui realizada na *Proposta Didática – Passo 3* distanciou-se bastante daquelas do tipo “receita de cozinha” (ALVES, 2000), na qual o aluno apresenta-se passivamente, cabendo a ele unicamente coletar ou “cozinhar” os dados. O experimento aqui proposto mais se aproximou de uma prática nos moldes construtivistas, na qual os agentes de fato atuam como tal, refletindo a prática antes mesmo de ser realizada, questionando os métodos, elaborando hipóteses e verificando as leis dentro das reais limitações do experimento. As etapas da Proposta anteriores à prática experimental apresentou-se como uma etapa pré-experimental (ROSA e ROSA, 2012), no qual os alunos tomaram consciência da teoria, dos aparatos, dos personagens, das previsões das leis etc., ou seja, tornou-se possível a construção do conhecimento dentro deste ambiente de diálogo e aprendizagem.

A presente pesquisa não teve como objetivo unicamente diagnosticar os conhecimentos anteriores dos estudantes, porém buscou-se também alfabetizá-los cientificamente, como esclarecido no capítulo 3, processo amplamente identificado em outros trabalhos, CARVALHO *et al.* (2010), SILVA (2006), VILLATORRE (2008). Alfabetizar aqui não se trata de um processo de substituição de conceitos, de antigos e errados por novos e corretos, no entanto, defende-se neste trabalho uma ressignificação de conceitos, dentro de um espaço culturalmente rico e diversificado, por meio da argumentação e análise da História da Ciência.

A relevância da pesquisa consiste em buscar um ensino *de e sobre* Ciência, não unicamente um ensino pautado na resolução de questões, por sinal descontextualizadas, mas que enfatiza os processos sócio-culturais de produção do conhecimento científico, além de desmistificar as origens da cinemática galileana, por meio da leitura e discussão de textos históricos, possibilitando avanços na aprendizagem científica dos estudantes, dentro da interação escolar.

2 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA

A Ciência representa avanços na busca de compreender a Natureza, o Homem e suas interações, sua produção histórica, cultural, social e política. Trata-se de uma área com objeto e métodos próprios, com personagens dito cientista, na linguagem atual, o qual colabora na produção do conhecimento científico e tenta compreender este mesmo conhecimento. Porventura, a História da Ciência também é uma área com objeto e métodos próprios, que investiga o conhecimento científico e sua produção, além de suas relações com o próprio contexto de produção.

No entanto, ao falar destas áreas revelamos que muitos são e permanecem equivocados, pois compartilham da ideia de que há “grandes descobertas”, “gênios”, “método científico”, “verdade”, “progresso científico” etc., numa perspectiva tão romântica que acabam não percebendo a riqueza pertinente à própria natureza da Ciência (NdC). Quanto a este aspecto (NdC), Peduzzi *et al* (2012) afirma que se trata de um termo usado, por pesquisadores, para se referir às concepções de ciência, ao seu funcionamento, normas da comunidade científica, seus métodos, evolução dos conceitos científicos, às descobertas dentro de um contexto, as relações entre ciência e tecnologia, ciência e sociedade, etc.

Todos estes aspectos, entre outros, são bem explorados num ensino pautado na abordagem histórica da ciência. Pesquisas com este objetivo tem sido realizadas desde a década de 1940, como aponta Peduzzi *et al* (2012), utilizando exemplos históricos para discutir como a ciência funciona. Na presente pesquisa, além de outros objetivos, elaboramos uma proposta didática a qual possibilitou que os participantes compreendessem melhor essa NdC, como algumas descobertas aconteceram, como o “cientista” trabalha e as relações entre ciência e contexto.

2.1 A institucionalização da História da Ciência

A História da Ciência como área do conhecimento encarregada de grandes narrativas de feitos históricos, de homens considerados gênios, como

nos conhecidos casos de Arquimedes gritando pelas ruas “*eureka*”, do ano *miraculoso* de Newton, ou Galileu na *Torre Inclinada de Pisa* diante de professores, filósofos e amantes da Ciência deixando cair bolas metálicas, faz parte de uma visão ultrapassada e defasada da mesma, com origens no início do século XX, atrelada a uma visão positivista (ou neopositivista). Em artigo, Bassalo (1995) afirma

Um outro aspecto sobre a importância do estudo da História da Ciência que gostaríamos de discutir neste artigo, refere-se à postura *positivista dos textos didáticos*. Com efeito, ao estudar-se um livro didático de qualquer disciplina, principalmente aqueles que não se preocupam com a parte histórica de seu desenvolvimento, fica-se com a impressão de que a evolução dos temas tratados por esse livro é absolutamente cronológica, racional e inquestionável. Contudo, isto não é verdade (BASSALO, 1995, p. 63).

Esta mesma visão é a que encontramos na maioria dos textos didáticos de Física, nos quais os autores despercebidos, ou propositalmente, introduzem a história de forma não realística, adaptando-a aos anseios de uma tendência, servindo aos interesses de uma classe dominante ou mesmo repetindo relatos que mais se aproximam de contos. Aqui não negamos a possibilidade de tais eventos terem ocorrido, porém a forma como são narrados e seus propósitos, além da concepção de Ciência que deixam transmitir.

O historiador da Ciência apresenta-se como indivíduo responsável por uma reconstrução histórica de alguma descoberta ou evento dentro da Ciência, ou seja, é o agente responsável pela historiografia desta área. Isto exige métodos, técnicas e fontes confiáveis. Quanto às fontes, estas podem ser *primárias* (original) e *secundárias* (estudos realizados por outros autores). As fontes primárias abrangem textos, imagens, manuscritos, documentos, objetos que chegaram em condições de análise até o tempo do historiador, enquanto as fontes secundárias consistem em trabalhos escritos por pessoas contemporâneas ao tema pesquisado ou outros materiais produzidos por terceiros. No entanto, o próprio historiador não está alheio ao seu tempo e acaba atendendo a uma determinada perspectiva historiográfica, que seria a forma de escrever a história. Isto acontece de forma inconsciente ou assumida explicitamente, mas deve estar claro que qualquer narrativa tem seu tempo,

está permeada de fatores de influência, como crenças, escolas filosóficas, religião, conhecimentos, política, economia, meio social etc. Isto equivale dizer que torna-se impossível ao historiador vê e relatar os fatos de forma totalmente objetiva. A respeito disto Beltran, Saito e Trindade (2014) afirmam:

Por historiografia devemos aqui entender a “escrita da história”. E toda narrativa da História da Ciência é historiograficamente orientada. Isso significa que as narrativas históricas não são neutras e são influenciadas por diferentes fatores ligados não só à formação, mas também à concepção de ciência daquele que escreve (BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014, p. 31).

Esta “concepção” de ciência afirmada pelos autores perpassa por todos os fatores anteriormente citados. O Historiador nos limites de sua tarefa atende a pré-conceitos, a uma perspectiva historiográfica, atende às exigências de seu tempo, ou mesmo de suas crenças, além de se limitarem devido às fontes que eles têm acesso. O olhar desse historiador está repleto de fatores internos e externos, igualmente determinantes na sua visão de Ciência. Assim é possível afirmar que a própria História da Ciência é temporal e está em constante mudança. Na própria fala de Beltran *et al.* (2014) “História da Ciência é o estudo da(s) forma(s) de elaboração, transformação e transmissão de conhecimento sobre a natureza, as técnicas e as sociedades, em diferentes épocas e culturas”. Devido a isto pode acontecer que dois historiadores da Ciência não entre em comum acordo quanto à origem de um determinado conceito, técnica, ou área do conhecimento, porque não necessariamente compartilham da mesma perspectiva historiográfica, isto impede de ambos chegarem às mesmas conclusões. Um exemplo muito comum é o caso do físico italiano Galileu Galilei.

Durante muito tempo os historiadores e filósofos da Ciência consideraram este pensador (Galileu) como “pai da ciência moderna”, exatamente por colocar a Ciência em bases sólidas, iniciar o método científico, com a experimentação e a Matemática dos eventos físicos. No entanto, no século XX, o historiador Alexandre Koyré (1892-1964) colocou em xeque esta questão, negando essa faceta de Galileu. Após uma análise dos feitos de Galileu, esse Historiador publicou a obra *Estudos Galilaicos*, onde

definitivamente relega ao italiano apenas um caráter platônico e a experimentação ocupava, segundo ele, um lugar secundário em suas obras. Assim, percebe-se que a própria História da Ciência não está pronta e acabada, já que ela está em constante reinterpretação.

A perspectiva historiográfica dominante no século XIX e início do século XX era a que hoje denominamos de Historiografia Tradicional. Aqueles que fragmentam o conhecimento em duas linhas, as quais são *conhecimento científico* e *conhecimento não científico*, têm como pressuposto uma concepção positivista de ciência. Isto significa que tais pesquisadores consideraram que a Ciência progride de forma linear, buscando sempre atingir um conhecimento mais verdadeiro, único, a ciência atual, real e verdadeira, deixando marginalizada qualquer outro tipo de produção de conhecimento, como a magia, a alquimia, as superstições, as crenças e religiões. Logo, a História da Ciência nesse período buscou realizar grandes narrativas, grandes levantamentos bibliográficos. Sobre esta busca pela caracterização do conhecimento científico e seu progresso, Beltran, Saito e Trindade (2014) dizem:

Desse modo, para se localizar a origem de um conceito escolhia-se um ramo da ciência contemporânea e buscava-se pela origem desse conhecimento. Tais estudos dedicavam-se então às grandes “descobertas”, às descrições dos grandes feitos e de seus respectivos heróis. Tudo o que não coubesse nesse quadro e não houvesse perdurado até o presente era considerado erro, não merecia um estudo mais aprofundado e não fazia parte da história da ciência. (...) A alquimia, a astrologia e a magia natural, importantíssimas no passado e fundamentais para o desenvolvimento da nova ciência não poderiam compor a História da Ciência (...) ganharam a alcunha de pseudociências (BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014, p. 31).

Nesta proposta de historiografia encontramos diversas obras de historiadores da ciência, como as de John William Draper (1811-1882), William Whewell (1794-1866), George Sarton (1884-1956), Pierre Duhem (1861-1916), Marcelin Berthelot (1827-1907), Andrew Dickson White (1832-1918), dentre outros. Negligenciar qualquer outro conhecimento que não fosse o “científico”,

descaracterizar a produção de conhecimento no medievo, subestimar os estudos realizados no Oriente, são marcas em comum de quase todas as obras de história até os anos iniciais do século XX. Um caso citado por Alfonso-Goldfarb (2004) é o de William Whewell, que escreveu *History of the inductive sciences, from the earliest to the present time*. Nesta obra ele reserva alguns capítulos sobre a ciência da Idade Média, onde seus preconceitos estão mais evidentes, segundo Alfonso-Goldfarb. Para ela, esse foi “o período estacionário” resultante do cristianismo que causou um abandono do raciocínio físico. Os então chamados “cientistas” do período não haviam adicionado nada de novo ao conhecimento. Ele (William Whewell) os ridicularizava por sua “confusão”, “dogmatismo”, “misticismo” e seu espírito “comentador”. E muitos foram os tratados de História da Ciência que repudiavam outro conhecimento que não fosse o de hoje, o de agora, aquele aceito pelos cientistas atuais.

O historiador George Sarton (1884-1956) é aquele que melhor representa a perspectiva historiográfica do início do século XX. A ele, principalmente, deve-se o fato da História da Ciência institucionalizar-se como uma área do conhecimento, um novo campo acadêmico com método e objeto próprios. Sarton instaurou este campo na universidade de Havard e foi o fundador (1912) e editor da revista *Isis*, o mais importante periódico desta área. Além disso, organizou diversos eventos internacionais, influenciou outros estudiosos interessados na temática e os convenceu da importância de se pesquisar na área. Ele era um positivista declarado e consolidou o modelo historiográfico tradicional que, como já comentado anteriormente, interessava-se apenas pelo conhecimento verdadeiro, abandonando todos os “erros” cometidos no passado. As palavras abaixo de Sarton, pontuam claramente sua empreitada positivista como historiador:

O historiador da ciência não pode devotar muita atenção ao estudo da superstição e da magia, isto é, do irracional, porque isso não o ajuda muito a compreender o progresso humano. (...) A insensatez humana, sendo ao mesmo tempo não progressista, imutável e ilimitada, tem em seu estudo uma empreitada inútil. Não pode haver muito incentivo em abranger aquilo que é indefinido e investigar a história de algo que não se desenvolveu (SARTON apud DEBUS, 2004, p. 33).

O pensamento positivista de um progresso científico, para o qual o conhecimento trilhava, está presente em suas palavras e em suas obras e para ele não havia nada de plausível no pensamento oriental, marcado por superstições, magia e misticismo. No livro *Tensão Essencial*, Thomas Kuhn (2011) afirma que era raro que fossem levadas em consideração observações, leis, ou teorias que a ciência contemporânea havia abandonado por julgá-las incorretas ou insignificantes. Isto resume bem a proposta tradicional. A mais conhecida obra de Sarton, *Introduction to the History of Science*, resume suas ambições historiográficas. A obra, que foi publicada num intervalo de vinte anos, é interrompida justamente porque Sarton percebe que é impossível alavancar todas as “grandes descobertas” desde Homero até a sua época. No entanto sua obra e dedicação acabam tendo influência suficiente para estabelecer bases sólidas para esta nova área.

Em contrapartida, no II Congresso Internacional de História da Ciência e Tecnologia, realizado na cidade de Londres, na semana de 29 de junho a 3 de julho de 1931, fez presença uma delegação da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), composta de cientistas, dentre os quais encontrava-se o físico Boris Hessen (1893-1936), na época diretor do Instituto de Física de Moscou, que apresenta o artigo intitulado “As raízes socioeconômicas dos Princípios de Newton”. Neste artigo, ele defende a tese de que a obra de Newton era uma obra de seu tempo, que atendia às expectativas da sociedade da época e não corrobora da ideia de que Newton seja um “gênio” muito à frente do século XVII.

Para ele (Boris Hessen) a Ciência devia ser entendida como uma atividade do homem e, portanto, para ser compreendida, precisa ser estudada dentro de seu contexto. Esta nova forma de vê a Ciência é dita *externalista*, diferentemente da perspectiva tradicional que pode ser considerada *internalista*, pelo fato de considerar a ciência independente de seu contexto social, cultural e econômico. Outro nome a ser considerado é o de J. Bernal (1901-1971), o qual realizou um estudo pormenorizado sobre a ciência e a civilização chinesa, seguindo uma tendência mais externalista, assim como outro historiador de nome J. Needham (1900-1995). Esta corrente, mais

próxima de uma História Social, ganha força ao considerar o desenvolvimento científico numa ótica social e política.

Como visto acima, a tendência continuísta da História da Ciência sofre seus primeiros ataques com a inauguração da historiografia externalista, no entanto foi a obra *A Formação do Espírito Científico* (1936), de Gaston Bachelard, que marca o rompimento com a ideia do progresso continuísta e acumulativo, no qual o conhecimento científico progride sem rupturas, linearmente, num acúmulo de ideias e teorias. Sua obra insere a História da Ciência como um campo de pesquisa capaz de identificar estas rupturas no avanço da Ciência, os obstáculos epistemológicos que impedem o conhecimento progredir, os quais podem ser ideias, hábitos, opiniões, teorias cristalizadas dentro de uma comunidade científica. Apesar disto, esta obra é criticada e classificada numa tendência “presentista”, pois pesava o passado com as medidas do presente, ou seja, o passado era analisado sob a ótica do do agora, do hoje.

Uma outra crítica à obra de Bachelard é que ela não consegue romper com ideia de progresso científico, ao analisar a passagem do conhecimento do senso comum ao conhecimento dito científico. Bachelard (1936) destaca que o conhecimento científico avança sempre de forma progressiva aproximando-se da verdade por meio de um logo trabalho de construção e de retificação, ou seja, rompendo com o conhecimento anterior. Fica claro que para ele as novas teorias surgem para retificar as passadas, corrigi-las em seu equívoco, em seu insucesso e fracasso.

A defesa de um progresso científico é percebido igualmente na obra do filósofo e historiador da Ciência Karl Popper (*A Lógica da Pesquisa Científica*). Mas diferentemente de Bachelard, Popper (2013) parte de uma lógica científica de que o conhecimento é produzido a partir da elaboração de hipóteses que deveriam ser provadas por meio de seu falseamento, ou seja, esta hipótese deve ser validada em sentido negativo, com base em experiências. Para ele bastava uma prova experimental para falsear uma teoria ou uma hipótese, enquanto se seguissemos o caminho inverso, seria necessário inúmeras constatações para validá-las, isto seria impossível. O princípio de falseabilidade

é amplamente defendido em sua obra. A consequência mais imediata que se pode verificar desta obra à História da Ciência é que as teorias científicas são agora percebidas como repostas mais verdadeiras à medida que evoluem e uma teoria sempre suplanta por completo a anterior. Assim a transição da teoria gravitacional de Newton para a teoria da relatividade geral de Einstein é entendido, numa perspectiva poperiana, como um progresso para uma teoria mais verdadeira. Isto irá se contrapor a uma visão estabelecida por Thomas Kuhn (1922-1996).

No final do ano de 1962 é publicada a tão conhecida obra “*A estrutura das revoluções científicas*” do filósofo e historiador da Ciência Thomas Kuhn. Este cientista deu início a sua carreira como físico teórico e teve seu primeiro contato com a História da Ciência em um curso experimental da universidade de Havard, para um público não-cientista. No prefácio da obra, Kuhn (2006) afirma “Para minha completa surpresa esta exposição (...) minou radicalmente algumas das minhas concepções básicas a respeito da natureza da ciência”. O resultado deste acontecimento, juntamente a outros, foi uma mudança drástica em seus planos profissionais, uma mudança da Física para a História da Ciência, de problemas simples de História para outros mais filosóficos, que buscavam dá uma resposta mais coerente para o desenvolvimento do conhecimento. Isto demonstrou o quanto seus preconceitos estavam ultrajados para as necessidades da época. Então, ocupa-se de sua principal obra dando ênfase ao conceito de revolução científica para o progresso da Ciência.

A revolução científica da qual Kuhn trata, representa o período de transição de um paradigma para outro. Não se trata da conversão de um único cientista, porém de toda uma comunidade que agora atendem aos interesses de regras, ideias e técnicas novas, mas adotadas por todos. Um paradigma, dentro da epistemologia kuhniana, significa um ideal para os cientistas, consciente ou inconscientemente, mas aceito e defendido amplamente, mesmo havendo outros paradigmas, sem ameaçar a oponência do primeiro. Um exemplo clássico de paradigma é a veneração que os gregos prestavam ao círculo, uma figura perfeita que representava toda a incorruptibilidade, toda a eternidade e o *Cosmo*. O newtonianismo representa para a Física Clássica o paradigma mais abrangente, de maior alcance do século XVII ao século XIX.

Tornou-se um ideal abraçado por quase a totalidade dos cientistas e, em consequência, qualquer problema não solucionado era falha do cientista, em sua habilidade em resolver os quebra-cabeças da Ciência, e não do paradigma newtoniano. Há muitos outros paradigmas, mas estes dois bastam para fazermos uma nota de introdução ao tratado de Kuhn.

Na visão de Kuhn o progresso científico segue o esquema *pré-ciência, ciência normal, crise-revolução-ciência extraordinária, ciência normal*. Mas sempre em movimento, não havendo mais o estágio pré-ciência. As crises em um paradigma são geradas por anomalias identificadas ao longo do tempo, que podem ser problemas que resistem insistentemente às soluções propostas pelo paradigma vigente. O problema “*Por que o periélio de Mercúrio avança?*” resistiu ao tempo e foi apontado por Kuhn como uma anomalia no modelo newtoniano para a Astronomia. Dentro da Teoria Geral da Relatividade isto foi explicado com maior precisão, apesar que Einstein não havia antecipado este resultado, mas foi um triunfo da Relatividade Geral como uma teoria mais corrente para a gravidade que a newtoniana.

No entanto, isto não significou que a Relatividade Geral suplantou a Newtoniana, como poderíamos concluir de uma análise histórica poperiana, pois para T. Kuhn estas são teorias incomensuráveis, o que quer dizer que não há um padrão de medida comum, impossibilitando dizer qual teoria é melhor, já que foram elaboradas num contexto totalmente distintos. Para ele não se trata de um aprimoramento dos conceitos, pois mesmo os conceitos de gravidade existindo em ambas as teorias, há algo diferente em definir gravidade no bojo de cada uma. Assim Kuhn abre o caminho para uma nova forma de investigar o passado da Ciência.

Agora ao retornar ao ponto inicial – *A institucionalização da História da Ciência* – percebemos que a História da Ciência esteve e está em constante reinterpretção, desde sua institucionalização nos anos iniciais do século XX, indo de uma perspectiva historiográfica tradicional, nos moldes do novo positivismo, a qual tem como ícone maior George Sarton, até às tendências mais correntes como a de Thomas Kuhn, interpretando o progresso científico em função de revolução e quebra de paradigmas, além de outras mais

recentes que não trataremos aqui. A História da Ciência como área do conhecimento não deve ser entendida como a simples junção da História com a Ciência, mas um campo totalmente novo que mantém ligações, por exemplo, com a Filosofia da Ciência, com métodos e objetos próprios.

2.2 História e o Ensino de Ciências: superando desafios

A Ciência mantém uma relação estreita com sua História e também com seu Ensino, porém efetivar com êxito tal relação não tem sido uma tarefa fácil. Nos parágrafos anteriores vimos como os cientistas-historiadores-filósofos têm se esforçado para estabelecer os elos entre as duas primeiras, desmistificando a Ciência e o trabalho do cientista, fazendo transparecer, na medida do possível, pontos antes obscuros como a NdC, o método científico, desenvolvimento e o progresso científico etc. A partir de agora, iremos nos concentrar no Ensino de Ciência numa abordagem histórica.

A inserção da História da Ciência no seu Ensino tem sido uma recomendação tanto em trabalhos de pesquisadores da área como de reformas curriculares. O caso de maior destaque é o Projeto 2061, criado e instaurado nos Estados Unidos da América (EUA) pela Associação Americana para o Progresso da Ciência (AAAS) em 1985, e publicado num relatório intitulado *Ciência para todos os americanos*. Tal relatório era composto de doze capítulos, dentre os quais o capítulo dez descreve sobre “Perspectivas Históricas”, apesar que não pretende substituir o conteúdo de Ciência pelo conteúdo de História e Filosofia da Ciência (HFC) recomenda veementemente a inclusão de tais tópicos no ensino, como bem pontua duas razões para isto, apresentadas por Matthews:

O fato de generalizações sobre o funcionamento de empreendimentos científicos não têm sentido se não forem fornecidos exemplos concretos. A segunda razão é fato de que alguns episódios na história das buscas científicas são bastante significativos para a nossa cultura; por exemplo, o papel de Galileu na mudança de percepção de nossa posição no universo (MATTHEWS, 1995, p. 168).

A busca pelo uso da História é assim justificada pelo seu valor educativo, perdendo sentido um ensino que não valorize sua própria história, suas origens e suas relações com outros aspectos da atividade humana, que transcende o lado cognitivo, trazendo para os currículo de Ciência a importância que esta tem para a sociedade e seu desenvolvimento. Na afirmação de Matthews é percebido que isto só será possível a partir de exemplos concretos, enriquecendo a prática educativa, indo além do lado utilitário das ciências.

Outro exemplo de reforma curricular de grande impacto que resgata a utilidade da História da Ciência é o Conselho de Currículo Nacional (NCC), lançado na Grã-Bretanha em 1988, citado em artigo por Matthews (1995). Tanto o Projeto 2061 como o NCC marcam um momento de reflexão quanto aos valores de uma educação científica contextualizada, pontuando que o ensino deve alcançar a todos os participantes do processo educacional. Dentre as habilidades dos estudantes de Ciências, três foram enfatizadas no NCC:

- Distinguir entre asserções e argumentos pautados em dados e provas científicas e os que não são;
- Considerar a maneira pela qual o desenvolvimento de uma determinada teoria ou pensamento científico se relaciona ao seu contexto moral, espiritual, cultural e histórico;
- Estudar exemplos de controvérsias científicas e de mudanças no pensamento científico (NCC, 1988, p. 113).

Assim fica evidente que o que se deseja não é um ensino *de* ciências, apenas, mas também um ensino *sobre* ciências. Este ensino deve estar mesclado a discussões a respeito da própria NdC, do desenvolvimento do conhecimento, do “fazer ciência”, da importância de fatores externos e internos à prática do cientista, relações entre cultura e ciência, etc. As grandes controvérsias ao longo da história podem e devem ser utilizadas pelos educadores como formas de concretizarem o processo ensino-aprendizagem, para que os estudantes reconheçam na prática dos que fazem ciência uma prática humana, coletiva, marcada por avanços e retrocessos, rupturas, obstáculos e revoluções.

No Brasil, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental e o Ensino Médio (PCN, PCN+ e PCNEM) reconhecem a relevância da contextualização histórica para a construção de uma concepção mais ajustada da ciência, retirando-a de uma posição neutra, utilitária, tecnicista e positivista. Aos poucos a História da Ciência tem ganhado espaço no ensino também em nosso país. Quanto ao Ensino de Física, por exemplo, é defendido neste documento que o uso da História da Ciência enriquece o Ensino de Física e torna mais interessante seu aprendizado, aproximando os aspectos científicos dos acontecimentos históricos, possibilita a visão da ciência como uma construção humana. Na parte que trata do Ensino de Biologia é dito:

Elementos da história e da filosofia da Biologia tornam possível aos alunos a compreensão de que há uma ampla rede de relações entre a produção científica e o contexto social, econômico e político. É possível verificar que a formulação, o sucesso ou o fracasso das diferentes teorias científicas estão associados a seu momento histórico (PCNEM, 1999, p 14).

Aqui percebe-se um certo alinhamento com as propostas curriculares internacionais, como no Projeto 2061 e NCC. A preocupação com uma abordagem mais ajustável da Ciência torna-se evidente quando tais documentos estabelecem habilidades e competências que se enquadrem numa visão mais atual de nosso ensino. No entanto, não devemos subestimar a complexidade da prática educativa, que sofre pressão de vários segmentos, mais próximos ou mais distantes, mais intenso ou menos intenso. Não há dúvidas que de fato o uso da História da Ciência no ensino auxilia na construção de um melhor entendimento *sobre* Ciência, mas é preciso também diversificar as estratégias por meio da experimentação ou outra metodologia recorrente. Acrescentando a isso há o distanciamento entre *currículo* e *prática*. Na maioria das vezes as aulas de Ciência (ou de Física) possuem marcas bastante tradicionais como apontam os estudos.

As contribuições do uso da história são evidentes dentro do contexto escolar, porém ainda existem muitas barreiras para uma implementação efetiva e para que essa disciplina seja explorada potencialmente como estratégia de

ensino. Num estudo Siegel (1979, apud Martins, 2006), elenca de forma objetiva três principais problemas encontrados nesta empreitada:

- (1) A carência de um número suficiente de professores com a formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história das ciências;
- (2) A falta de material didático adequado (textos sobre história da ciência) que possa ser utilizado no ensino;
- (3) Equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação (SIEGEL, 1979 apud MARTINS, 2006, p. 23).

Apesar da distância temporal entre a citação e nossa época, as colocações feitas por este estudioso ainda são pertinentes e não foram superadas totalmente, infelizmente. Já tratamos, anteriormente, a respeito da institucionalização da História da Ciência e vimos que como qualquer outra área do conhecimento necessita de pessoas especializadas, preparadas e formadas para pesquisar na área, com formação específica. No Brasil, isto não condiz com a realidade, poucos brasileiros têm formação neste campo, e menos ainda são os pós-graduados. Martins (2006, p. 23) é bem enfático quanto a este quadro dizendo “Infelizmente, poucos brasileiros foram para o exterior em busca de uma formação na área e há poucas pós-graduações no Brasil dedicadas à história das ciências”.

Isto gera uma série de problemas secundários, mas não menos importantes e maléficos aos ensino. MARTINS (2006) continua seu discurso afirmando que há um certo número de pessoas que dão aulas de História da Ciência sem ter uma formação adequada e, por isso, podem nem saber distinguir um bom livro de um péssimo e, por esse motivo, transmitem uma visão totalmente equivocada da história da ciência. MARTINS (2006, p. 23) é mais duro em suas críticas quando afirma “professores improvisados podem prestar um grande desserviço a essa área”. Este quadro aos poucos está mudando, devido ao crescente número de pós-graduações na área e com o crescente interesse de diversos professores e pesquisadores. Num futuro próximo isso deverá estar resolvido.

O segundo problema, tão emergente como o primeiro, que traduz um cenário preocupante e também antigo é a falta de bons textos de História da Ciência. Sabe-se que nosso ensino ainda está no paradigma do livro didático e que as aulas, não só de Ciência, são planejadas tendo como fonte principal o livro-texto. Nosso atual ensino de Física busca num livro adotado as soluções para os problemas deste ensino, como se este mesmo livro fosse a solução. O livro didático, apesar dos avanços, tem suas limitações e o professor, que deve ser consciente disto, em sua prática docente deve procurar outros recursos. Sobre este fato Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011) deixam claro que:

Ainda é bastante consensual que o livro didático (LD), na maioria das salas de aula, continua prevalecendo como principal instrumento de trabalho do professor, embasando significativamente a prática docente. Sendo ou não intensamente usado pelos alunos, é seguramente a principal referência da grande maioria dos professores (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011, p. 36).

Esta é a realidade de nosso ensino. Um livro que serve como a principal referência dos professores. Mesmo que os alunos não tenham o hábito da leitura do livro, ou mesmo porque não possuem estímulo para esta leitura, os professores continuam a insistir a tomá-lo como principal recurso em suas aulas. Na maioria das vezes, nem se quer seguem as orientações propostas pelo autor. Ou então, deixam de lado aspectos importantes como contextualização do conhecimento, práticas de laboratório, a física e a tecnologia, física no cotidiano etc. Quanto ao tratamento histórico dos tópicos em ciências, mais especificamente em Física, nossos livros reservam, geralmente, pouca atenção. Nesta ínfima atenção encontram-se relatos históricos valorizando os feitos dos “grandes gênios da ciência”, dando ênfase a um progresso científico marcado por um certo positivismo, por uma certa linearidade, discutida no tópico anterior, que podemos enquadrá-los na perspectiva historiográfica tradicional.

Os materiais paradidáticos encontrados no mercado atendem às exigências do mercado e, por isso, o problema não é tanto a quantidade, mas a qualidade destes materiais. Na maioria das vezes são produzidos por pessoas sem uma formação adequada ou que não realizaram uma pesquisa profunda e

acabam escrevendo grandes biografias, textos de história, mas que não seriam úteis ao ensino, pois transmitem uma visão equivocada da ciência e suas características, valorizando grandes feitos, descobertas isoladas, reduzindo a História da Ciência a nomes, datas e anedotas, e aclamando um método científico que é tão criticado/questionado entre os filósofos e historiadores da Ciência. Quanto a isto MARTINS (2006) afirma que obras que resultam desse 'esforço' transmitem não apenas informações históricas erradas, mas deturpam totalmente a própria NdC. No que tange à NdC, Alves *et al* (2012) defende que

Dentro das ideias acerca da Natureza da Ciência que deveriam ser evitadas, segundo quase o consenso da literatura em Ensino de Ciências, ressalta-se: (i) uma concepção empírico-indutivista e atórica, na qual a observação e a experimentação são entendidas como atividades neutras, independentes de compromissos teóricos, deixando-se de lado o papel de conceitos e hipóteses como orientadoras de investigação; (ii) uma visão rígida, algorítmica, exata da prática científica, que se resumiria ao emprego de um suposto "método científico", entendido como um conjunto de etapas que devem ser seguidas mecanicamente; e (iii) uma visão aproblemática e ahistórica, dogmática e fechada, da Ciência, relacionada ao ensino como uma "retórica de conclusões", buscando-se transmitir aos alunos conhecimentos já elaborados, sem os problemas dos quais eles se originaram, as dificuldades encontradas em sua solução, e as possibilidades e limitações do conhecimento científico (ALVES, 2012, p. 29).

Torna-se evidente a necessidade em não corroborar com uma história que não condiz com a verdadeira natureza da Ciência, atendendo aos pontos levantados pelo autor. Superar o segundo problema apontado anteriormente (a falta de material adequado) requer incentivar o crescimento na produção de bons textos de História da Ciência. As exigências para o que deve comportar um livro didático talvez sejam utópicas, incluindo tópicos de História e Filosofia da Ciência, práticas experimentais, relação entre ciência e tecnologia etc. No entanto, é essencial que os autores, ao se aventurarem na escrita de textos de história, sejam auxiliados por especialistas da área, afim de transmitirem uma história que se distancie da pseudo-história (simplificar os fatos históricos) e da

quase-história (ajustar os fatos históricos, falsificação), que são problemas a serem superados também.

Como já exposto aqui, uma pessoa que se detém para escrever um texto sobre História da Ciência deve ser um especialista na área ou então consultar textos confiáveis, de preferência fontes primárias ou secundárias, caso sejam confiáveis. Deve se resguardar quanto aos métodos deste campo, além de evitar uma visão simplista da História da Ciência, escrevendo numa linguagem simples e clara, mas evitando simplificar demais a complexidade histórica real, para não alimentar uma perspectiva historiográfica positivista e tradicional, reduzindo os eventos científicos, tão caros ao desenvolvimento científico, a nomes, datas e anedotas (MARTINS, 2006).

A Ciência avança sim, mas de forma gradual, lenta, coletivamente, por meio de rupturas e crises. Os mitos e as lendas, amplamente utilizadas em aulas, como *A queda livre na Torre de Pisa*, *A maçã e a descoberta da Teoria Gravitacional*, *Arquimedes e os espelhos ardentes* etc., devem ser cuidadosamente investigadas e apresentadas aos estudantes em seus aspectos reais e não imaginários. Um outro erro muito comum que provém da visão equivocada da História da Ciência é o uso de argumentos de autoridade (MARTINS, 2006). Apresentar uma descoberta científica no formato “Ela foi feita pelo grande físico Isaac Newton” impede que os alunos questionem tal descoberta, já que foi estabelecida por um “gênio” da humanidade. Logo, os passivos estudantes aceitarão tais “equações”, “leis”, “teorias”, “verdades”, não porque avaliaram sua validade, sua coerência, sua aplicação, seus limites, porém por crerem no “cientista” ou no “professor”.

Agora estamos no momento certo e com ferramentas suficientes para responder *Qual História da Ciência devemos ensinar?* Torna-se uma pergunta pertinente à presente pesquisa, pois assim podemos decidir quais características devem ter um bom texto em História da Ciência a ser aplicado em sala de aula. Quanto ao fato das atividades de ensino conterem um teor histórico-filosófico, Carvalho *et al.* (2010) delineiam alguns pontos que devem ser atendidos por tais atividades:

- A Ciência é uma construção histórica, humana, viva e, portanto, caracteriza-se como proposições feitas pelo homem ao interpretar o mundo a partir do seu olhar imerso em seu contexto sócio-histórico-cultural;
- A Ciência produz conhecimentos abertos, sujeitos a mudanças e reformulações;
- A construção destes conhecimentos é guiada por paradigmas que influenciam a observação e a interpretação de certo fenômeno;
- O conhecimento não é construído pontualmente, sendo um dos objetivos da Ciência criar interações e relações entre teorias (CARVALHO *et al.*, 2010, p. 110).

Assim as estratégias com uma abordagem histórica-filosófica devem buscar valorizar os processos internos do trabalho científico tanto quanto os aspectos externos que consistem no caráter coletivo do fazer ciência, as implicações sociais, tecnológicas, ambientais, políticas e também culturais. O conhecimento deve ser apresentado aos estudantes como inacabado, apesar de sistematizado, em construção e marcado, como citado acima, por paradigmas amplamente aceitos e adotados. Tais atividades, caso atendam aos critérios aqui enumerados, terão um valor educativo inquestionável.

Num artigo publicado na *Revue de Synthèse* em abril de 1933, Paul Langevin (1872-1946), físico francês, foi muito claro em sua posição ao afirmar que para contribuir à cultura geral e tirar do ensino de ciências tudo o que ele oferece para a formação do espírito, nada substituiria a história dos esforços passados. E de forma complementar a este ponto de vista, após anos de dedicação ao estudo da lenta evolução das ideias, o físico brasileiro Mário Schemberg (2001, p. 38) enfatiza que “O estudo da História da Ciência pode ser altamente educativo não só para pessoas de especialização científica como também para aqueles de interesse exclusivamente filosófico”. Com tais citações esperamos que professores venham a reconhecer o potencial do ensino a partir da contextualização histórica, buscando não só as origens das ideias, mas também suas fortes relações sócio-política-culturais com uma determinada época, além de implementar estratégias com o objetivo de resgatar a História de suas Ciências.

A princípio o uso de texto histórico na presente proposta didática surge como alternativa ao ensino puramente de conceitos, sem uma ligação com o momento histórico, com o contexto, sem uma abordagem mais realística da evolução de tais conceitos, que no caso da pesquisa tratam-se daqueles da Cinemática. A pesquisadora Freitas-Reis (2015) apresentou e propôs sequências nas quais os textos históricos, alguns de fontes originais e outros de fontes secundárias, surgem como material de apoio para inserção da História da Ciência, além de permitirem a discussão de como alguns conceitos científicos se formaram e foram aceitos pela comunidade em geral, após diversos acordos e desacordos.

O que se anseia neste tipo de pesquisa não é meramente identificar a evolução de conceitos, ou mesmo sua assimilação por parte dos estudantes, enquanto participantes deste processo, mas também a formação de uma visão mais correta do que é a Ciência e como ela é construída, marcada por disputas políticas, filosóficas, econômicas, religiosas, sociais e culturais. Ou seja, os textos aqui usados buscaram um ensino *de* Ciência e *sobre* Ciência, MATTHEWS (1995), PEDUZZI *et al* (2012), SILVA (2006). Na tentativa de fazer perceber o processo coletivo de produção do conhecimento é que foram produzidos e implementados os textos da presente proposta didática.

2.3 A Cinemática de Galileu: alguns mitos e verdades

A palavra *cinemática* vem do grego *kinemas* e significa movimento. O movimento dos corpos, em geral, sempre atraiu a curiosidade de muitos sábios, desde a antiguidade. Podemos citar alguns nomes como *Aristóteles*, *Ptolomeu* (90 d.C – 168 d. C), *Nicolau de Cusa* (1401-1464), *Jean Buridan* (1295-1363), *Philoponus* (490 d.C – 570 d. C), *Oresme* (1320-1382), *Isaac Newton* (1642-1727), *Galileu* (1564-1642), *Kepler* (1571-1630).

A jornada da Cinemática tem início bem antes das primeiras grandes revoluções científicas (séculos XVI e XVII), antes mesmo de Cristo. O estudo do movimento já era alvo de pesquisas e estudos, não da mesma forma como

hoje é feito, nem com as mesmas ferramentas, ou com o mesmo propósito. Nas palavras de Mario Schemberg, podemos melhor entender este ponto:

As observações dos astros foram o ponto de partida das medidas do tempo, e podem até ter antecedido a descoberta da Agrimensura. As observações dos astros podem também ser consideradas como o ponto de partida da cinemática, que combina as ideias geométricas com o conceito de tempo (SCHEMBERG, 2001, p. 17).

Da citação acima, pode-se verificar que o estudo da cinemática tem suas origens na observação e catálogo das posições dos astros, atividade que remonta às antigas civilizações como a Grécia, a Mesopotâmia, o Egito, a Babilônia e outras. Estamos falando de séculos antes de Cristo. Os conceitos mais elementares da Cinemática (tempo, comprimento, movimento, espaço) já estavam em evolução, apesar que não tinham o mesmo significado que hoje eles têm.

Às vezes as discussões eram puramente filosóficas, em outros momentos tomavam um caráter mitológico, religioso, ou mesmo quantitativo e mecânico. Por exemplo, na Grécia havia o conceito de espaço ocupado por um objeto, mas não ainda de espaço em si, ou seja, havia uma relação íntima entre corpo e espaço ocupado por este, diferentemente da neutralidade na geometria euclidiana. Os babilônios, séculos antes da era cristã, já haviam desenvolvidos tabelas astronômicas capazes de prevê eclipses, movimentos do Sol e da Lua e suas fases. Obviamente que eles não tinham “leis” cinemáticas para isso, mas tinham ciência da regularidade no transcorrer do tempo, assim como das posições ocupadas pelos astros nos céus.

Os modelos cosmológicos dos pensadores gregos antigos trazem em seu cerne a semente da Cinemática, assim como da Dinâmica (sobre a qual falaremos mais adiante). Anaximandro (610 a.C – 546 a. C), contemporâneo de Tales de Mileto (623 ou 624 a.C – 546 ou 548 a.C), teorizou o modelo de um novo espaço, que não era mais o espaço mítico, mas um espaço geométrico. No firmamento haviam várias envoltórias para acomodar os corpos celestes. O Sol, assim como as estrelas, eram orifícios e numa envoltória adiante havia um fogo. As fases da Lua e os eclipses eram entendidos como “obstruções” desses furos. Esta é a uma das primeiras tentativas de um modelo mecânico

para o Universo e traz alguns elementos, semelhantes àqueles encontrados na Cinemática de hoje – *a ideia de um movimento original que gera os outros movimentos; a ideia de mudanças constantes; a necessidade de uma lei imutável no tempo.*

O escritor Pires (2011) relata outros modelos como o de Filolao, discípulo de Pitágoras, onde pela primeira vez é imposto à Terra um movimento ao redor de uma outra entidade (um fogo central). Mas estes modelos faziam apenas alusão a alguns conceitos, sem um estudo mais sistemático.

Nos tempos de Aristóteles (384 a.C. – 322 a. C.) haviam duas ideias fundamentais a respeito do *ser* e o *não ser*, em consequência relacionados ao movimento: a da escola heraclitiana² e a da escola eleática³. Tais propostas tentavam resolver o conflito na estabilidade do conceito do ser. A problemática era “*como algo que é pode deixar de ser*”? Ou seja, como explicar o movimento? Para os heraclitianos a natureza é perpetuamente mutável, enquanto para os eleáticos o ser permanece sempre da mesma forma, imutável, e o movimento era pura ilusão gerada por nossos sentidos.

O Filósofo grego Aristóteles solucionou o problema do movimento acrescentando novos elementos no seio de sua Teoria: ele afirmou que os corpos terrestres são formados por terra, água, fogo e ar, enquanto que os corpos celestes são constituídos por um quinto elemento, o *éter* ou *quintessência*, o qual é incorruptível e eterno, sem sombras de mudança. Para ele movimento representa a passagem do *ser em potência* ao *ser em ato* ou *ser realizado*. As causas do movimento seria de natureza *material*, *formal*, *eficiente* ou *final*. A corruptibilidade é um “ingrediente” presente em todas as coisas terrestres, porque é uma característica da matéria que as compõem (terra, água, fogo e ar).

² Heraclitiano vem de Heráclito, filósofo natural de Éfeso. Defendia a ideia de que o Ser está em constante e eterno movimento, o que significa que todas as coisas não param de mudar, evoluir e de se mover. Sua máxima era “É impossível banhar-se duas vezes no mesmo rio”.

³ Escola Eleática foi fundada na Heléia que era uma região da Grécia Antiga, hoje costa da Itália. Lá nasceu o filósofo Parmênides para o qual o movimento, a evolução ou a mutação de qualquer coisa ou objeto é o Não-Ser. O Ser preenche todo o espaço ... o Ser é imutável, eterno e imóvel. Mudança, transitoriedade, movimento e o vácuo são o Não-Ser e, portanto, irreais e ilusórios.

Já os corpos celestes, segundo este pensador, já são perfeitos e não carecem, de fato, de mudar sua essência, mas podem ter apenas deslocamentos físicos. Isto é provado pelos sentidos, pois em nenhuma época houve qualquer alteração registrada nos seres celestiais. Desta forma o Universo estava dividido em duas partes: o *mundo sublunar* (da Terra à Lua) e o *mundo supralunar* (da Lua até a esfera das estrelas fixas). Assim está constituído o *Cosmo* para ele.

Para ele todo movimento tem uma causa, sua máxima era “tudo que move é movido”. Isto equivale dizer que para iniciar um movimento ou para manter um corpo em movimento é preciso uma “ação” ou uma “causa” interna ou externa ao mesmo corpo. Nas palavras de Ben-Dov (1996) a causa eficiente é o agente que produz o resultado e a causa final, por sua vez, seria a finalidade da mudança, para onde o corpo tende (a finalidade de uma semente é transformar-se numa árvore, por exemplo). Em termos mais atuais a causa eficiente pode ser identificada com o conceito de força.

No pensamento aristotélico não é importante dizer *porque* um corpo se desloca, mas *para que* ele se desloca. Daí surge a ideia de *lugar natural* de um corpo. Um corpo terrestre se movimenta para alcançar seu lugar natural. Dependendo de que é feito o corpo, este pode ter posições acima ou abaixo de outros. O lugar natural do elemento terra era na parte mais inferior, enquanto o elemento fogo na parte mais superior.

Daí fica explicado porque corpos mais pesados (graves), como uma pedra, tende a cair na direção do centro da Terra, quando soltos de uma altura, enquanto a fumaça de uma fogueira sobe até regiões mais altas. Isto significa que quando um corpo é retirado de seu lugar natural, eles tendem retornar, realizando um movimento também natural. Logo, o corpo guarda com o lugar uma certa “relação”. Mas não somente estes exemplos de movimentos existem. Como referência imaginemos o movimento de uma pedra presa na extremidade de um barbante. Um agente pode impor a esta pedra um movimento circular, que não é seu movimento natural, mas aquilo que Aristóteles chamou de movimento violento. Ao cessar a ação do agente externo, a pedra cairá em linha reta dirigindo-se ao seu lugar natural.

A queda dos graves (corpos pesados), estudo também recorrente na época de Aristóteles, nas proximidades da superfície terrestre é compreendida em função desse “desejo” do corpo retornar ao seu lugar natural. Eles tendem a movimentar-se para o centro do Universo, que neste caso coincidiria com o centro da Terra. Para ele um objeto cai porque está em busca de seu lugar e, ao encontrá-lo, fica em repouso por não haver mais uma causa final para seu movimento. Mas sabemos que há corpos mais pesados que outros. E Aristóteles aceitava que o peso do corpo influenciaria na queda de um grave – não só o peso como também a resistência do meio (TAKIMOTO, 2009). Para o pensador quanto maior o peso maior a velocidade de queda, em outras palavras, mais rápido o corpo chega ao seu lugar natural e quanto maior a resistência do meio menor a velocidade, mais o corpo demora “cair”. Podemos até escrever em forma de equação os resultados das observações de Aristóteles, usando a Álgebra atual:

$$\frac{P}{R} = V \quad 2.1$$

onde P é o peso, R é a resistência do meio e V a velocidade. O raciocínio do sábio grego é puramente intuitivo, no sentido de ser baseado na observação imediata. Ao soltar da mesma altura uma bolinha de chumbo e uma bolinha de papel, podemos sem medo de errar afirmar que a mais pesada chega primeiro ao chão. Às vezes a física de Aristóteles é também chamada de a física do senso comum, pois não se baseia num método mais rigoroso para se chegar aos resultados e fatos.

E quanto a um corpo lançado obliquamente, tipo uma bala de canhão? No pensamento aristotélico só pode haver um movimento de cada vez, logo isso impõe que a subida é descrita por uma reta ascendente e, ao cessar a causa externa, a bala cairia em linha reta para seu lugar natural. A figura abaixo ilustra a situação.

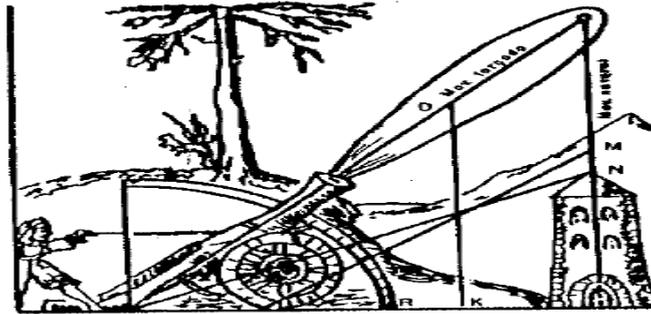


Figura 1: O movimento de projéteis, segundo Aristóteles.

Fonte: Retirado do livro “Origens e evolução das ideias da Física” - EDUFBA

Aqui está apenas pontuado alguns avanços no estudo dos graves, seja os mesmos contrários ou a favor das ideias de Aristóteles, que perduraram como a única teoria do Universo completa, estudada e analisada em diferentes regiões e até mesmo adaptadas pela fé cristã. As pessoas, em geral, tendem a interpretar e compreender os fatos referentes ao movimento pensando numa Terra em repouso, mesmo estando convencidas do movimento diário e anual de nosso planeta. No entanto, estas mesmas pessoas não conseguem elaborar, em seu pensamento, ideias explicativas dos fenômenos com a Terra em movimento, logo porque isto é contra-intuitivo (ora, se a Terra estivesse de fato em movimento, sem dúvida deixaria para trás a Lua, segundo o aristotelismo, sem falar que não sentiríamos nenhum movimento a não ser alguns tremores devido ao às placas tectônicas). E esta discussão se concentrou no tema que queremos esclarecer – queda dos corpos.

Algumas soluções foram arquitetadas para o problema da queda dos corpos pesados (COHEN, 1988).

- **Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.):** a bola mais pesada chegaria não só num tempo mais curto como também com uma velocidade dez vezes maior.
- **Joannes Philoponus (João, o Gramático):** Philoponus (490 d.C - 570 d.C.), um erudito bizantino, no século VI, andava estudando esta questão (não exatamente da mesma forma como aqui elaborada). Ele afirmava que as experiências contradizem as opiniões aceitas a respeito.

Para ele uma “observação real” era muito mais convincente que qualquer argumento verbal e filosófico.

Porque, se você deixar cair da mesma altura dois corpos, um dos quais é muitas vezes mais pesado que o outro, verá que a razão dos tempos gastos no movimento não depende da razão dos pesos, mas que a diferença em tempo é muito pequena. E, assim, se a diferença em pesos não é considerável, a saber, se um é, digamos, o dobro do outro, não haverá diferença, ou então uma diferença imperceptível em tempos, embora a diferença em peso não seja de modo algum desprezível, com um corpo pesando duas vezes mais que o outro (COHEN, 1988, p. 5).

- **Um milênio após Philoponus, o engenheiro, físico e matemático Simon Stevin (1548 - 1620) realizou a experiência:** Stevin estava mais preocupado em provar o erro de Aristóteles. Ele descreveu sua experiência da seguinte forma:

A experiência que contradiz Aristóteles é a seguinte: Tomemos (como o ilustre Sr. Jan Cornets de Groot, grande investigador dos segredos da Natureza e eu próprio fizemos) duas esferas de chumbo, uma dez vezes maior e mais pesada que a outra e deixemo-las cair juntas, de uma altura de 10 metros numa tábua ou em alguma coisa sobre a qual elas produzam um som perceptível. Verificar-se-á então que a mais leve não levará dez vezes mais tempo no seu caminho do que a mais pesada, mas que elas caem praticamente juntas sobre a tábua, a ponto de seus dois sons parecerem uma única pancada seca (COHEN, 1988, p. 6).

- **Avempace (1106-1138):** filósofo árabe espanhol, defendeu as ideias de Philoponus e refutou as afirmações de Aristóteles de que o tempo de queda de um corpo é diretamente proporcional à densidade e, portanto, à resistência do meio por onde se movimenta o corpo.
- **Thomas Bradwardine (1290-1343):** matemático do Colégio de Merton; ele concluiu que dois corpos homogêneos de tamanhos diferentes e, portanto, de pesos diferentes, cairiam no vácuo com velocidade iguais; ele foi o primeiro a fazer uma análise matemática detalhada do movimento.

- **Girolamo Borro (1512-1592):** Professor em Pisa, este cientista afirmou num livro de 1575 que deixou cair bocados de madeira e chumbo, de igual peso mas de diferentes tamanhos e descobriu que “o chumbo caiu mais devagar”. Afirmou que a experiência tinha sido feita “não uma mas muitas vezes” e “com o mesmo resultado”. Este mesmo resultado foi registrado também por Galileu Galilei (1564-1642), que disse que corpos mais leves avançam mais rapidamente no início do movimento de queda.

As referidas tentativas de diferentes pensadores, em várias épocas, inclusive na Idade Média, demonstram o interesse no estudo da natureza da queda dos corpos. Este estudo culmina com o trabalho do italiano Galileu Galilei, o personagem central de nossa discussão, que fez um estudo pormenorizado para a época, estabelecendo novos métodos. Antes de entrarmos na temática *Galileu*, tomemos ciência das contribuições dos medievais no estudo do movimento, com alguns relatos.

A Idade Média foi considerada por muito tempo como *Idade das Trevas*. O conhecimento, hoje tido como científico, deu uma estagnada, enquanto o religioso avançava ganhando força e terreno. As teorias científicas tiveram pouca importância e a *escolástica* (escola que tentava harmonizar a razão com a fé) ganha destaque. No entanto, os historiadores atuais identificaram avanços em diversas áreas, além de afirmarem que o conhecimento estava à disposição da doutrina cristã. Aqui iremos pontuar avanços na Filosofia Natural (hoje Física), mais especificamente na cinemática. Este período, como se vê adiante, foi peça chave na construção de um estudo do movimento, desvinculado das causas e efeitos, que mais tarde aparece no livro “Duas Novas Ciências” do italiano Galileu Galilei.

William de Ockham (1285 - 1347) definiu o movimento diferente de Aristóteles. Seu princípio “as necessidades não devem ser multiplicadas além da necessidade” ou “é vão fazer com mais, o que pode ser feito com menos” também conhecido como *lei da economia*, permitiu a construção de uma nova física para o movimento. Ele está entre aqueles que primeiro fizeram a distinção entre cinemática e dinâmica. Afirmava que as leis da natureza devem

ser as mais simples possíveis. Criticou alguns pontos do pensamento aristotélico:

- Tudo que se move é movido por uma outra coisa
- Movimento, que Ockham definiu como um objeto tendo existências sucessivas em lugares diferentes sem repouso intermediário e não era uma realidade separada do corpo que se movia
- Eliminou entidades aristotélicas como lugar natural, corpo pesado, corpo leve, e não se preocupou com as causas do movimento

Ele passa a descrever o movimento como mero deslocamento do corpo num intervalo de tempo e seria fútil postular outras coisas a respeito. Na sua descrição do movimento não há necessidade de uma “força”, ou qualquer outra causa, para manter o movimento, uma vez iniciado, ou seja, ele poderia ser eterno.

Já no final da Idade Média alguns pensadores já estavam abandonando o pensamento aristotélico e aderindo a novas formas de pensar o movimento. Por exemplo, Nicolau de Cusa (1401-1464), cardeal alemão, preferiu o neoplatonismo ao aristotelismo. Para ele, a Terra estava em movimento e não podia ocupar o centro do Universo. Já naquela época, ele afirmava que *lugar* e *movimento* não eram absolutos, pois dependiam de um observador, ou seja, eram relativos (o movimento absoluto representa o deslocamento de um corpo no espaço, enquanto o relativo representa um deslocamento de um corpo em relação a outro – é infrutífero perguntar se é a Terra ou o Sol que está em movimento absoluto). O **Colégio de Merton**, em Oxford, foi de grande importância neste processo e na elaboração de uma teoria do movimento em moldes parecidos ao que conhecemos hoje (cinemática). Abaixo algumas contribuições dos *mertonianos*, segundo TAKIMOTO (2009, p. 57)

- Uma clara distinção entre descrição do movimento e causa do movimento.
- A definição de velocidade como deslocamento no tempo e a conceitualização de velocidade instantânea
- A definição de aceleração como variação da velocidade no tempo
- O estudo dos movimentos uniformes e acelerados

- Estudo gráfico das grandezas cinemáticas em função do tempo: eles traçaram gráficos $v \times t$
- A formulação e demonstração do Teorema da Velocidade Média, usada por Galileu mais tarde

O Teorema da Velocidade Média foi primeiramente demonstrado pelos mertonianos. Nicolau de Oresme (1325-1382) demonstrou a validade do teorema geometricamente. Abaixo uma figura contendo trecho do livro “O Nascimento de Uma Nova Física” de I. Bernard Cohen, ilustrando melhor o contexto da demonstração do citado teorema.

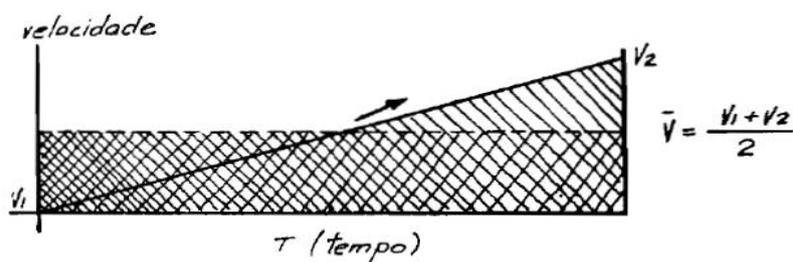


Figura 6: Teorema da Velocidade Média⁴.

Fonte: Retirado do livro “O Nascimento de uma nova Física” (I. Bernard Cohen)

Este mesmo teorema foi usado por Galileu em seus estudos do movimento naturalmente acelerado.

O filósofo natural Galileu Galilei (1564-1642) nasceu na cidade de Pisa, Itália. Filho de Vincenzo Galileu (1520-1591), um nobre empobrecido, mas culto, com habilidades em Matemática e Música. Galileu, aos dezessete anos, foi estudar medicina na Universidade local, porém não conseguiu concluir o curso devido sua condição financeira e voltou-se para as investigações científicas e estudos da Matemática, apesar da opinião contrária de seu pai, que não desejava este destino para o filho. De 1585 a 1589 Galileu ministrou

⁴ Nicole Oresme, de Paris, usou a Geometria para provar que um corpo uniformemente acelerado, a partir de uma velocidade V_1 até à velocidade final V_2 , percorreria a distância D no intervalo de tempo T em que o faria se se tivesse movido com velocidade constante V , média aritmética de V_1 e V_2 . Admitiu que a área sob o gráfico da velocidade em função do tempo seria a distância D . Para o movimento uniformemente acelerado, a apresentação seria uma linha inclinada, e para o movimento uniforme seria uma reta paralela ao eixo dos tempos. A área sob a primeira seria a de um triângulo, ou $\frac{1}{2} T \times V_2$. A área sob a segunda seria a área do retângulo, ou $T \times \frac{1}{2} V_2$, a altura do triângulo sendo duas vezes a do retângulo. As áreas, e portanto as distâncias percorridas, seriam iguais.

aulas particulares de Matemática em Florença e lecionou em escolas públicas e particulares em Siena.

Ao estudar o problema da queda dos corpos, Galileu, sabemos, fez experiências nas quais deixou cair objetos de elevações e, nos dias de sua mocidade em Pisa de uma torre. Não podemos dizer se esta foi a famosa Torre inclinada de Pisa, ou alguma outra; os assentamentos que fez nos dizem meramente que foi de uma torre. Posteriormente, seu biógrafo Viviani, que conheceu Galileu nos seus últimos anos, contou uma história fascinante, que desde então criou raízes como uma lenda sobre Galíleu.

Desejando refutar Aristóteles, subiu à Torre inclinada de Pisa, "na presença de todos os outros professores e filósofos e de todos os estudantes", e, "por experiências repetidas" provou "que na velocidade de corpos em movimento constituídos do mesmo material e de massas desiguais, movendo-se através do mesmo meio, os tempos de queda não são inversamente proporcionais às suas massas como afirmara Aristóteles, mas que eles se movem com igual velocidade (COHEN, 1988, p. 113).

Tal experiência, se realizada, só poderia ter o objetivo de provar o erro de Aristóteles, segundo I. Bernard Cohen (1988). Mas o importante é que os resultados não concordam com os dados do próprio Galileu, porque, explicou muito cuidadosamente que corpos de tamanhos desiguais não atingem exatamente a mesma velocidade, alcançando o mais pesado dos dois a Terra, um pouco antes do mais leve. Embora vibrassem novo golpe em Aristóteles, as experiências da Torre de Pisa ou outra qualquer, não revelaram certamente a Galileu uma lei nova e correta sobre a queda dos corpos. Entretanto, a formulação da lei foi um dos seus grandes feitos.

Galileu assumiu que outros já tinham verificado que um corpo em queda acelera continuamente, no entanto ele foi mais adiante, revelando como se dá essa aceleração. Assumindo que a Natureza deve agir da forma mais simples ele afirmou:

Quando ... observo uma pedra, inicialmente em repouso, caindo de uma posição elevada e continuamente adquirindo novos incrementos de velocidade, por que não hei de acreditar que tais aumentos

ocorram de maneira que é extremamente simples e óbvia para qualquer pessoa? Se agora examinarmos a matéria cuidadosamente, não achamos adição ou incremento mais simples do que aquele que se repete sempre do mesmo modo (GALILEU, 1638, p. 160).

Galileu escreveu ao seu amigo Fra Paolo Sarpi (1552-1623), sobre esse mesmíssimo assunto. Nessa carta, Galileu admitiu que a lei correta da queda livre dos corpos é aquela na qual a velocidade aumenta proporcionalmente à distância percorrida na queda. Partindo desta hipótese Galileu erroneamente acreditou poder deduzir que a distância percorrida na queda deveria ser proporcional ao quadrado do tempo:

$$V \propto D \quad \rightarrow \quad D \propto t^2 \quad 2.2$$

Entre a carta escrita a Sarpi e o aparecimento de *As Duas Novas Ciências* (1638) Galileu corrigiu o seu erro, admitindo agora que a velocidade é proporcional ao tempo, que também é uma relação simples, como ele mesmo exigia:

$$V \propto t \quad \rightarrow \quad D \propto t^2 \quad 2.3$$

Assim a velocidade de um corpo que cai, a partir do repouso, aumenta na mesma proporção que os números naturais 1, 2, 3 ... enquanto os espaços D_1, D_2, D_3 que ele percorre a intervalos de tempo iguais e consecutivos estão entre si como os números ímpares, 1, 3, 5, 7 ... Isto revela a influência platônica e pitagórica no método de Galileu, já que também acreditava que as leis da Natureza poderiam ser expressas por números e as relações entre tais. Uma conclusão geral de Galileu muito importante: quando a resistência se torna tão grande que iguala o peso do corpo que cai, a resistência do ar "evitará qualquer aumento em velocidade e tornará o movimento uniforme".

O processo de Galileu, tal como o descrevemos, assemelha-se ao usado pelos maiores cientistas, mas difere radicalmente do que é comumente descrito nos compêndios elementares como "método científico". Em geral dizemos que o primeiro passo é "coletar todas as informações importantes", e assim por diante. O método usual de proceder, dizem-nos, é colher um grande número de observações, ou realizar uma série de experiências, depois classificar os resultados, generalizá-los, procurar uma relação matemática e, finalmente,

descobrir uma lei. Mas Galileu procede sentando-se à sua mesa com papel e lápis, pensando e criando idéias. Começa com uma convicção fundamental de que a Natureza é simples. Torna-se claro, do que foi exposto, que o objetivo das observações e experiências, tais como a da queda livre, não era a formulação de uma lei, mas simplesmente certificar-se que de fato tais acelerações, como as discutiu Galileu, podem realmente ocorrer na Natureza.

A descrição do movimento na obra de Galileu é resultado de uma análise geométrica, o que é inovador neste físico, torna-se uma nova forma de análise do movimento iniciada pelos mertonianos.

Quando ele compara intervalos de tempo e distâncias percorridas com segmentos de retas, está deixando claro que as verdades da Natureza só podem ser reveladas através de relações geométricas e por números e suas relações, isto equivale a uma herança pitagórica, escola que preconizava que todos os segredos da Natureza podem ser encontrados nos números e nas figuras geométricas. Galileu sempre compara tempo com tempo e distância com distância e nunca admitia ser possível a razão entre distância e tempo e, conseqüentemente, diferencia-se da nossa habitual maneira de definir velocidade (média ou instantânea).

Após analisar as propriedades do movimento uniforme, Galileu volta-se para o movimento acelerado. O problema fundamental que ele tinha em mente era determinar uma definição que melhor se ajuste a natureza. Não se tratava de qualquer movimento acelerado, mas exatamente aquele que pode-se inferir naturalmente, daí ter chamado este movimento de movimento naturalmente acelerado. Numa perspectiva investigativa, trabalhando na elaboração de ideias e formas de experimentá-las, Galileu trata da queda de corpos pesados próximos à superfície da Terra, sempre considerando que estes movimentos devem ser o mais simples possível.

Na sua obra “Duas Novas Ciências” Galileu apresenta o seu famoso, além de questionável, experimento do *Plano Inclinado*, por meio do diálogo entre os personagens. Abaixo um trecho do livro (GALILEU, 1638).

Salviati – *Como verdadeiro homem de ciência, sua exigência é muito razoável; pois é assim que convém proceder nas ciências, que aplicam as demonstrações matemáticas aos fenômenos naturais como se observa no caso da Perspectiva, da Astronomia, da Mecânica, da Música e de outras, as quais confirmam com experiências sensatas seus princípios, que são os fundamentos de a toda estrutura ulterior. (...) Pelo que se refere às experiências, o autor não deixou de fazê-las; e para assegurar-se de que a aceleração dos graves, que caem de modo natural, acontece na proporção acima afirmada encontrei-me muitas vezes em sua companhia, procurando tal prova da seguinte maneira.*

"Tomou-se um pedaço de madeira de mais ou menos 6 metros de comprimento, 25 centímetros de largura e três dedos de espessura; na sua borda cavou-se um canal de pouco mais de um dedo de largura; tendo feito este sulco bem reto, liso e polido, e tendo-o forrado com pergaminho, também tão liso e polido quanto possível, fizemos rolar ao longo dele uma bola de bronze, dura, lisa e bem redonda. Colocando este bloco em posição inclinada, levantando uma das extremidades 50 centímetros ou um metro mais ou menos acima da outra, fizemos rolar a bola, como eu estava dizendo, ao longo do canal, anotando, da maneira a ser descrita daqui a pouco, o tempo necessário para realizar a descida. Repetimos esta experiência mais de uma vez a fim de medir o tempo com tal exatidão que o desvio entre duas observações nunca excedesse um décimo de uma pulsação. Tendo realizado esta operação e nos assegurado da confiança que podia merecer, fizemos então rolar a bola somente num quarto do comprimento do canal; e tendo medido o tempo de sua descida, achamos que ele era precisamente a metade do primeiro. Experimentamos, a seguir, novas distâncias, comparando o tempo para o comprimento total com o da metade, ou com o de dois terços, ou de três quartos, ou em verdade com o de qualquer fração; em tais experiências, repetidas uma boa centena de vezes sempre achamos que os espaços percorridos estavam uns para os outros como os quadrados dos tempos decorridos, e isto era verdade para todas as inclinações do plano, isto é, do canal, ao longo do qual fazíamos rolar a bola. Também observamos que os tempos da descida, para várias inclinações do plano, mantinham uns para com

os outros precisamente a relação que, como veremos mais tarde, o autor tinha predito e demonstrado. Para a medida do tempo empregamos um grande vaso d'água, colocado em posição elevada; no fundo do vaso foi soldado um tubo de pequeno diâmetro, dando um pequeno jato que recolhíamos num copo durante o tempo de cada descida, tanto para toda a extensão do canal, como para uma parte; a água assim recolhida era pesada após cada descida, numa balança muito sensível; as diferenças e razões desses pesos deram-nos as diferenças e razões dos tempos, e isto com tal precisão que, embora a operação fosse repetida muitas e muitas vezes, não havia discrepância apreciável nos resultados".

Segundo Cohen (1988), torna-se claro, do que foi exposto, que o objetivo das observações e experiências, tais como a do plano inclinado, não era a formulação de uma lei, mas simplesmente certificar-se que de fato tais acelerações, como as discutiu Galileu, podem realmente ocorrer na Natureza. Além disso, o que está demonstrado nessa série de experiências não é que a velocidade é proporcional ao tempo, mas somente que a distância é proporcional ao quadrado do tempo.

As experiências de queda dos graves, juntamente com aquelas no plano inclinado, foram desacreditadas por muitos dos estudiosos contemporâneos a Galileu. O padre Mersenne tentou realizar essas experiências, verificou que nunca podia obter o mesmo resultado encontrado pelo físico (aqui ele fazia referência a uma experiência específica). Mais recentemente, o historiador Alexander Koyré publicou um livro cujo título é "*Estudos Galilaicos*" e classificou Galileu como um pensador platônico e que as experiências em seu trabalho tem um papel secundário. Em outros momentos, afirma que o grande físico, aclamado por elaborar um novo método de investigação na ciência, na verdade nunca fez os experimentos descritos em sua obra, que não passavam de experimentos mentais. No entanto, outros defendem que Galileu levou a cabo estes experimentos, apesar de todas as dificuldades técnicas da época. A exemplo, temos Settle e Drake. O último repetiu os experimentos propostos em alguns manuscritos de Galileu e concluiu que os resultados eram possíveis (veremos mais adiante).

3 PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA

3.1 O ensino experimental: origens e alternativas

A Física como ciência, dentro dos termos atuais, foi estabelecida ainda no século XVII devido às contribuições de estudiosos como Galileu Galilei (1564-1642), Isaac Newton (1642-1727), Leibinz (1646-1716), Descartes (1596-1650), Huygens (1629-1695), Robert Hooke (1635-1703), dentre outros. Porém o Ensino de Física e o Ensino Experimental de Física em escolas secundárias têm origens mais recentes. O ensino de Física em nosso país, por exemplo, data do século XIX, com a fundação da escola Pedro II no Rio de Janeiro, em 1837. O ensino de Ciências teve, de certa forma, incentivos do imperador Pedro II, um entusiasta dessa modalidade de ensino, apesar de que há pesquisadores que discordem deste ponto de vista.

No final do século XIX e início do século seguinte, na Era das Máquinas, o país vivenciou um crescente uso dos laboratórios no ensino de Ciências. Com respeito a este fato, Alvarenga (2007) em sua dissertação de mestrado, faz a seguinte afirmação:

Neste período (Era das Máquinas), pelo menos no Brasil, o laboratório didático era apenas demonstrativo: o professor utilizava “máquinas” prontas, que eram arranjos experimentais de alto custo econômico. O objetivo era possibilitar aos alunos observar fenômenos físicos, com o intuito de comprovar a teoria vista anteriormente (ALVARENGA, 2007, p. 12).

Nesta perspectiva, percebem-se as características principais de nossos primeiros laboratórios didáticos, que até então não passavam de demonstrações feitas unicamente pelos professores, apenas para comprovar aquilo que foi estudado. A participação dos alunos era irrelevante, os quais permaneciam ali apenas como meros telespectadores de um show.

Na década de 50, após a Segunda Grande Guerra, com a corrida armamentista e a disputa pela hegemonia do poder entre as duas sobreviventes potências mundiais, Estados Unidos e União Soviética, surge uma crescente preocupação com o ensino das ciências. Neste período aparecem os grandes projetos inovadores de Física nos Estados Unidos, em

alguns países da Europa e também no Brasil (inicialmente traduções). Em um artigo, Gaspar (2010) apresenta o momento e as circunstâncias do aparecimento de um dos primeiros projetos norte-americanos:

Uma das primeiras iniciativas de pensar e efetivar um ensino de Física atualizado, motivador e eficiente foi o projeto PSSC (Physical Science Study Committee). Criado nos EUA, em 1956, sob o patrocínio da National Science Foundation, o projeto inseriu-se em uma ampla mobilização nacional resultante do profundo impacto causado na época pelo lançamento do Sputnik I, primeiro satélite artificial da Terra. O trauma deveu-se a uma evidência refletida por esse lançamento – a dianteira tecnológica assumida pela URSS sobre os EUA – e sugeria aos norte-americanos a necessidade de providências urgentes para reverter esse quadro sobretudo pela reformulação educacional de seus estudantes (GASPAR, 2010, p. 2).

O PSSC torna-se um marco no ensino experimental de Física. Os EUA, motivados pelo desejo de entrar de vez nessa corrida pela frente do desenvolvimento tecnológico, busca na reformulação do ensino das ciências um avanço na fabricação de futuros cientistas que solucionariam os problemas existentes. Este projeto, o PSSC, amplamente analisado por diversos pesquisadores, foi o primeiro de muitos projetos que valorizou o ensino experimental, com a participação dos alunos, fugindo de vez dos laboratórios demonstrativos, que tanto marcou o ensino de ciências até a década de 50. No prefácio do PSSC fica claro a estrutura e a proposta deste curso:

Este livro-texto é a alma do curso PSSC: nele a Física é apresentada não como um simples conjunto de fatos, mas basicamente como um processo em evolução, por meio do qual os homens procuram compreender a natureza do mundo físico. Além do livro-texto existem, estreitamente correlacionados, um guia de laboratório e um conjunto de aparelhos modernos baratos [...] Do começo ao fim, o estudante é levado a concluir que a Física deve ser estudada como um todo. Tempo, espaço e matéria, em particular, não podem ser separados. Ele percebe, além disso, que a Física é um assunto em desenvolvimento, e que este desenvolvimento resulta do trabalho da imaginação de homens e mulheres a ele semelhantes (PSSC, 1970, p. 8).

O PSSC apresenta ao final do livro-texto um guia de laboratório proposto para um trabalho conjunto entre professor e aluno. Nele a Física é apresentada, dentro de sua proposta, como um conjunto de conhecimento que está em constante desenvolvimento. O conteúdo no livro-texto é apresentado de tal forma que segue uma complexidade crescente e o guia de laboratório possui práticas experimentais possíveis de serem realizados na escola. Apesar de todo esforço de seus idealizadores o projeto não teve sucesso prolongado, devido a muitos motivos. Um destes motivos consistia no fato do projeto acreditar que o conhecimento científico só podia ser aprendido a partir da atividade experimental. Na verdade, a atividade experimental numa prática deve surgir como um recurso para auxiliar e não para substituir a prática existente. Numa análise breve deste projeto Gaspar afirma o seguinte:

Assim, a crença de que a experimentação levaria à compreensão ou até mesmo à redescoberta de leis científicas – ideia que hoje seria classificada como um equívoco epistemológico – permeou todo o projeto dando a ele ênfase exagerada e irrealista ao papel da experimentação o que, ao nosso ver, levou toda a proposta ao fracasso (GASPAR, 2007, p. 3).

O pesquisador Moreira (2000), em artigo, também pontua alguns motivos do fracasso deste projeto, dentre outros:

A análise de por que foi relativamente efêmera a época dos projetos (...) parece-me um motivo que não pode ser ignorado é a falta de uma concepção de aprendizagem. Quer dizer, os projetos foram muito claros em dizer como se deveria ensinar a Física (experimentos, demonstrações, projetos, “hands on”, história da física, ...), mas pouco ou nada disseram sobre como aprender-se-ia esta mesma Física (MOREIRA, 2000, p. 95).

Apesar dos fracassos vividos por este projeto, ele tornou-se um marco histórico em todo o ensino de Física, tanto nos EUA quanto no restante do mundo, inclusive aqui no Brasil. Os projetos seguintes, sem os erros cometidos pelo PSSC, de certa forma até inovaram o ensino de Física em seus respectivos países. Na Inglaterra surgiu o Projeto para o Ensino de Ciências da fundação Nuffield, o Projeto Harvard nos EUA, Projeto de Ensino de Física (PEF) no Brasil, desenvolvido pelo grupo de pesquisadores da USP em ensino

de Física. Mas sem dúvida o PSSC foi o que mais marcou o ensino experimental de Física.

Tanto o PSSC quanto o PEF marcam de fato o início das práticas experimentais no ensino de Física em nosso país. Os alunos nesses projetos são avaliados como verdadeiros investigadores da ciência. Nas palavras de Carvalho *et al.* (2010, p. 54) “Nesses projetos, as aulas experimentais foram planejadas como um lugar de investigação, visando o desenvolvimento de problemas experimentais”. Na mesma época surge também o projeto FAI (Física Auto-Instrutiva), espelhado nos projetos internacionais. Todos estes projetos estão ligados ao desenvolvimento do ensino experimental no Brasil.

3.2 Habilidades e competências no laboratório: pensando nos PCNEM

A Física é entendida como um conjunto de conhecimento construído historicamente, culturalmente e humanamente. Conhecimento este que vem a fazer parte da visão de mundo daquele que a estuda, seja na escola de ensino Fundamental (Ciências), seja na escola de ensino Médio ou mesmo em outro âmbito como na universidade. E o Ensino de Física está regulamentado em documentos como a Lei de Diretrizes da Educação Básica (Lei nº 9394/96), nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), os quais defendem um ensino de Ciências e de Física baseados no desenvolvimento de habilidades e competências dos estudantes, tornando-os capazes de melhor compreender o mundo moderno, cheio de avanços que estão inteiramente ligados ao conhecimento científico adquirido ao longo do tempo. Neste ponto, pode ser citado aquilo que está escrito no PCNEM:

O aprendizado da Física promove a articulação de toda uma visão de mundo, de uma compreensão de dinâmica do universo, mas ampla do que nosso entorno material imediato, capaz, portanto, de transcender nossos limites temporais e espaciais. Assim, ao lado de um caráter mais prático, a Física revela também uma dimensão filosófica, com uma beleza e importância que não devem ser

subestimadas no processo educativo. Para que esses objetivos se transformem em linhas orientadoras para a organização do Ensino de Física no Ensino Médio, é indispensável traduzi-los em termos de competências e habilidades, superando a prática tradicional [...] Mas habilidades e competências concretizam-se em ações, objetos, assuntos, experiências que envolvem um determinado olhar sobre a realidade, a qual denominamos Física, podendo ser desenvolvida em tópicos diferentes, assumindo formas diferentes em cada caso, tornando-se mais ou menos adequadas dependendo do contexto em que estão sendo desenvolvidas. Forma e conteúdo são, portanto, profundamente interdependentes e condicionados aos temas a serem trabalhados (PCNEM, 1999).

A Física tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea, daí a importância imediata de um ensino de qualidade desta área do conhecimento, pois nele o estudante identifica-se como parte de um todo, que está em constante evolução, entendendo que o conhecimento científico é de suma importância na sua visão de mundo. Neste processo o aluno deve aprender a interpretar, analisar e compreender fatos, fenômenos e processos naturais, seja na escala macroscópica ou microscópica, percebendo assim que o aprendizado da Física, de forma prática, é indispensável no desenvolvimento dessas habilidades e competências necessárias na compreensão dinâmica do mundo natural, procurando suas regularidades e leis mais gerais.

As competências e habilidades adquiridas no estudo da Física perpassam por vários pontos como a apropriação de uma linguagem própria, que faz uso de conceitos e terminologia específica, por uma formação científica, por uma contextualização histórica e social da Física, entendendo-a como um processo em estreita relação com as condições sócio-político-econômicas de uma determinada época, assim como entender a ciência e a tecnologia como componentes da cultura atual. Todas estas habilidades vem ao encontro dos propósitos deste trabalho. Desta forma, pretende-se ter um ensino eficaz e eficiente nas escolas, capaz de mudar e transformar o estudante de forma integral, possibilitando ao mesmo, competências de agir sobre o mundo em que vive, atuar, ser crítico, modificar sua realidade, através de ações planejadas e conscientes. E neste sentido, o aprendizado da Física

deve contribuir, somar e subsidiar estas mudanças. Porém estas preocupações com o ensino de Ciências (e de Física) não são recentes. A respeito disto Carvalho *et al* (2010) afirma:

Mas essas não são preocupações recentes: desde o início dos anos 1900 é possível encontrar referências sobre a necessidade de arquitetar um currículo que leve em conta as dimensões sócio-culturais das ciências, ou seja, um currículo que considere o impacto do progresso promovido por esses conhecimentos e suas aplicações na vida de cada pessoa, na cultura e na sociedade. (CARVALHO *et al*, 2010, p. 2)

Este pesquisador afirma, como deve ser entendido acima, que o ensino de Ciências (e de Física) deve preparar o indivíduo para o mundo atual, porém esta preocupação já vem de décadas passadas e os documentos como a LDB e os nossos PCN's traduzem e afirmam mais ainda essa urgência de ter um currículo ainda mais atual, transformador e impactante na aprendizagem e formação dos alunos. E as competências e habilidades da disciplina Física convergem para este ponto.

As habilidades e competências são propostas atuais para um ensino cada dia mais moderno e transformador.

No Quadro 1, têm-se as habilidades e competências propostas nos PCNEM, no intuito de esclarecer e apontar o afirmado em parágrafos anteriores.

Quadro 1: COMPETÊNCIAS E HABILIDADES DESENVOLVIDAS EM FÍSICA (PCNEM)

Representação e comunicação
<ul style="list-style-type: none"> • Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos. Compreender manuais de instalação e utilização de aparelhos. • Utilizar e compreender tabelas, gráficos e relações matemáticas gráficas para a expressão do saber físico. Ser capaz de discriminar e traduzir as linguagens matemática e discursiva entre si. • Expressar-se corretamente utilizando a linguagem física adequada e elementos de sua representação simbólica. Apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento apreendido, através de tal linguagem.

- Conhecer fontes de informações e formas de obter informações relevantes, sabendo interpretar notícias científicas.

- Elaborar sínteses ou esquemas estruturados dos temas físicos trabalhados.

Investigação e compreensão

- Desenvolver a capacidade de investigação física. Classificar, organizar, sistematizar. Identificar regularidades. Observar, estimar ordens de grandeza, compreender o conceito de medir, fazer hipóteses, testar.

- Conhecer e utilizar conceitos físicos. Relacionar grandezas, quantificar, identificar parâmetros relevantes. Compreender e utilizar leis e teorias físicas.

- Compreender a Física presente no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos. Descobrir o “como funciona” de aparelhos.

- Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões.

- Articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico.

Contextualização sócio-cultural

- Reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico.

- Reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico.

- Dimensionar a capacidade crescente do homem propiciada pela tecnologia.

- Estabelecer relações entre o conhecimento físico e outras formas de expressão da cultura humana.

- Ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e/ou tecnológicos relevantes.

Fonte: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais.

Pode-se perceber que as competências e habilidades propostas no PCNEM, as quais abrangem pontos como representação, comunicação, investigação, compreensão e contextualização sócio-histórica, são os objetivos que os estudantes devem atingir ao final do Ensino Médio, contribuindo na

formação dos mesmos, para que estes possam atuar em seu meio, afetando diretamente sua evolução e transformação de forma positiva. Quanto a isto Carvalho *et al.* (2010, p. 12) afirma “Os documentos oficiais são claros em frisar a necessidade de se formarem cidadãos prontos para trabalhar, atuar e participar da sociedade contemporânea”.

Mas aquilo que está proposto em documentos oficiais, como a LDB e os Parâmetros Curriculares Nacionais, só pode ser atingido quando a Física ensinada nas escolas for ao encontro do cotidiano dos alunos, quando se aproximar, ao máximo, da realidade dos mesmos, quando ajudá-los a entender os fenômenos do dia-a-dia, ao permitir a esses alunos a compreenderem os inúmeros aparelhos, frutos da tecnologia atual, quando esta Física transformar de fato a visão de mundo desses estudantes etc. Em suma, deve-se ensinar uma Física real e não conteúdos totalmente descontextualizados, que apresenta uma ciência acabada, sem possibilidades de inúmeras formas de avançar e mudar. É neste sentido que o presente trabalho tem a contribuir com uma investigação histórica, auxiliada por experimentos históricos, pois desta maneira é possível transparecer uma imagem mais real da ciência, mas especificamente da Física.

Após estas análises, fica evidente a importância de uma aula de Física auxiliada pelo laboratório, ou mesmo por experimentos, por mais simples que ele seja, desde que planejado e com objetivos claramente estabelecidos. Tratar o ensino de Física como uma ação repetitiva, descontextualizada, desamparada de aspectos culturais, filosóficos e sociais, é compactuar com o insucesso que há muito caracterizou este ensino. Uma prática experimental, seja na sala de aula ou no laboratório, com a participação ativa dos sujeitos da aprendizagem proporciona um ambiente favorável ao desenvolvimento das habilidades e competências sugeridas pelos PCN's e, como já dito, a presente pesquisa vem a auxiliar neste aspecto.

3.3 Alfabetizando cientificamente na prática experimental

No ambiente escolar fica claro que a metodologia do ensino experimental vem a enriquecer as situações de aprendizagem. E uma prática experimental deve estimular e/ou permitir não apenas a aprendizagem de novos conceitos como também a alfabetização científica dos alunos. O conceito de alfabetização científica deriva originalmente do termo inglês *scientific literacy* e foi utilizado pela primeira vez em 1958, por Paul Hurd (apud Carvalho *at al* 2010, p. 14). Quanto à alfabetização científica, Carvalho *at al* (2010) afirma:

No Brasil, encontramos autores que usam as expressões “letramento científico”, “enculturação científica” e “alfabetização científica” para designarem o objetivo do ensino de Ciências que almeja a formação cidadã dos estudantes para o domínio e uso dos conhecimentos científicos e seus desdobramentos nas mais diferentes esferas de sua vida. É importante perceber que no cerne das discussões [...] estão as mesmas preocupações com o ensino de Ciências e motivos que guiam o planejamento deste ensino para a construção de benefícios práticos para as pessoas, a sociedade e o meio ambiente (CARVALHO *at al.*, 2010, p. 14).

O ensino da Física nas escolas de Ensino Médio deve propiciar aos estudantes a construção da consciência de um ser mais crítico em relação ao mundo social, cultural e político. Os diferentes termos apontam, aproximadamente, na mesma direção. Um ser que estuda ciência deve ser um ser ativo, consciente das diferentes relações entre os conhecimentos e o ambiente, um ser interativo, um ser que sabe usar este conhecimento adquirido para melhor compreender o mundo que o cerca. Neste aspecto, o ensino experimental da Física, dentro do laboratório ou em outro ambiente escolar, facilita e proporciona que o estudante seja alfabetizado cientificamente. Na prática experimental há ambiente adequado a esta função da disciplina Física. Uma prática que permite ao aluno solucionar problemas reais (e não aqueles propostos apenas nos livros), interagir com os colegas, seguir um planejamento que pode ser negociado com os outros participantes, manipular equipamentos (montar e desmontar), elaborar e testar hipóteses, sem dúvida é uma prática rica e significativa na alfabetização científica dos estudantes.

A alfabetização científica de um estudante consiste numa iniciação nas ciências de forma consciente. Trata-se de compreender os objetivos do conhecimento científico, de assimilar o uso dos símbolos, de seguir um método ou uma técnica, de aprimorar habilidades como observação, reflexão, intuição, ação diante de um problema. Trata-se de melhor entender a natureza das coisas, dos fenômenos, dos acontecimentos. Alfabetizar cientificamente é também entender o passado, o presente e o futuro de forma ativa, reflexiva e consciente. É uma ação cultural. Em sua análise Carvalho *et al* (2010) afirma que:

Outro ponto que não deve ser desconsiderado na busca da alfabetização científica dos estudantes é permitir o conhecimento de aspectos da natureza das Ciências por meio de investigações que se aproximem das características do trabalho científico. Nesse sentido, há a necessidade de considerar quais são as noções e conceitos que os alunos já possuem sobre os temas da Física que se vai abordar. A resolução de problemas pode ser realizada de diferentes maneiras: desde a proposição de problemas abertos, resolvidos sem a necessidade de materiais práticos, até o convite para a experimentação (CARVALHO *et al.*, 2010, p. 24).

Aqui aparece claramente a proposição de resolução de problemas por meio da experimentação. No âmbito da alfabetização científica, há a necessidade da negociação dos conteúdos, dos conceitos de Física e dos temas que serão trabalhados. Surge aqui também a importância daquilo que o aluno já sabe, aquilo que ele traz para a negociação dos conceitos, a sua bagagem, o seu conhecimento anterior. O aluno candidato à alfabetização científica não é uma tabula rasa, não é um depósito de conhecimento, mas um ser ativo.

As investigações citadas acima devem se aproximar do trabalho científico. Neste aspecto, é válido frisar a importância da experimentação, pois esta atividade tem uma ligação estreita com o método utilizado pelos cientistas. Na prática experimental o estudante tem um problema a ser solucionado, partindo de uma prática, de dados coletados e de relações entre as grandezas estudadas. Hipóteses são elaboradas e testadas. E as conclusões levam a possíveis previsões. Uma prática em laboratório (ou na sala de aula) aproxima

o aluno da verdadeira natureza da disciplina Física, pois ela trata de ensinar conceitos aceitos por uma determinada comunidade e que foram elaborados historicamente, culturalmente e socialmente.

Mas a alfabetização científica não é um processo estático ou mesmo que tenha fim. Trata-se de um processo dinâmico, que se renova e se inicia a cada etapa à medida que novos conceitos são adquiridos. Isto está bem claro nas palavras de Carvalho *et al* (2010):

Sabemos que a alfabetização científica (AC) é um processo que, uma vez iniciado, deve estar em constante construção, assim como as próprias ciências, pois, à medida que novos conhecimentos sobre o mundo natural são alcançados pelos cientistas, novas formas de aplicação são encontradas e novas tecnologias surgem, trazendo, por sua vez, novidades a toda sociedade (CARVALHO *et al*, 2010, p. 19).

Desta forma, a alfabetização científica tem estreitas relações com as descobertas científicas, com as aplicações tecnológicas da Ciência e com as novas teorias. Isto sugere que ela é um processo em constante construção. O estudante de Física do Ensino Médio deve ser consciente disto e, por isso, é necessário procurar formas alternativas de se ensinar Física.

Uma prática (experimental) bem elaborada deixa visível que tanto os métodos mudam como também é possível, através da experimentação, encontrar novos resultados que exigem novas explicações coesas com o conhecimento existente. Não que uma aula expositiva e com outros recursos não seja capaz de despertar esta consciência, contudo, uma aula teórica sem uma continuação prática dos conceitos, dificilmente despertará o estudante pra esse processo dinâmico da Ciência.

Educar o estudante cientificamente é papel da Física, assim como da Química e da Biologia. No Ensino Médio essas disciplinas tratam juntas de gerar oportunidades de alfabetização científica, que por sua vez, pode ser considerado o início da formação do espírito científico do aluno. Não se quer dizer que são disciplinas voltadas para futuros cientistas, mas disciplinas ensinadas a todos, no intuito de instigar cada aluno em suas ações como refletir, interagir, resolver problemas, compreender a natureza dos fenômenos

físicos, químicos e biológicos, entendendo o seu meio como construção do homem social e cultural.

O espírito científico aqui citado refere-se à capacidade do aluno de analisar, de criticar, de formalizar, de organizar conceitos pertinentes à Ciência. Ou seja, refere-se às habilidades, capacidades e competências que ele adquire no ensino de Física do Ensino Médio. Porém para que a prática experimental propicie o espírito científico do aluno é preciso segundo Carvalho *et al* (2010):

As aulas de laboratório que visam alcançar os objetivos de uma enculturação científica, em que os alunos têm um engajamento efetivo, pensando e tomando suas próprias decisões, e construindo suas argumentações sobre os fenômenos estudados, somente acontece quando os professores reformulam o seu papel: de transmissor do conhecimento já estabelecido para um orientador de seus alunos, ajudando-os na construção de seus novos conhecimentos (CARVALHO *et al.* 2010, p. 61).

Professores surgem como orientadores na prática experimental e não transmissores de conhecimentos, fato tão comum em aulas puramente expositivas. A aula de laboratório contribuirá na enculturação científica ou alfabetização científica dos alunos quando professores se tornarem conscientes de seu papel. Somente assim o conhecimento transmitido tornar-se-á significativo para o estudante de Física do Ensino Médio.

3.4 Delimitando a prática: experimentos históricos

O resgate de *experimentos históricos* tem sido uma ferramenta de grande importância no ensino de Ciências (de Física). Proporciona que o aluno identifique no conhecimento físico, enquanto construção humana, formas de mudar nosso meio, de contribuir para sociedade, para a cultura em geral. Segundo Hottecke (2000, p. 344) “o método de replicação de experimentos históricos torna possível entender a ciência como um trabalho prático que acontece no laboratório. Ele permite uma ideia da experimentação na história da ciência”.

O experimento histórico insere o laboratório, assim como também a história da ciência, nas aulas de Física de forma mais motivadora, mais prazerosa e mais lúdica, permitindo que os alunos se encantem e vislumbrem na Física uma ciência que evolui a cada dia, com a contribuição de diferentes cientistas, em diversos países e até mesmo em épocas diferentes.

A busca por metodologias e recursos que, no âmbito das aulas de Física, proporcionem uma maior integração entre aquilo que é ensinado e o que realmente é essencial na visão de mundo dos estudantes, dá um impulso a mais na introdução da *História das Ciências no ensino*. Essa revela como de fato o pensamento científico é modificado e construído no transcorrer do tempo, desmistificando aquilo que conhecemos como método científico. Com a História das Ciências, as aulas são transformadas em momentos desafiadores e de reflexão. Nessa linha de pensamento, na presente pesquisa buscou-se um resgate do experimento histórico *Plano Inclinado de Galileu*.

Na própria afirmação de Matthews (1995) encontramos a preocupação com o uso da investigação histórica no ensino de Ciências:

A investigação histórica do desenvolvimento da ciência é extremamente necessária a fim de que os princípios que guarda como tesouros não se tornem sistema de preceitos apenas parcialmente compreendidos ou, o que é pior, um sistema de pré-conceitos. A investigação histórica não somente promove a compreensão daquilo que existe agora, mas também nos apresenta novas possibilidades (MACH apud MATTHEWS, 1995, p. 169).

O ensino de Ciências fazendo uma abordagem histórica e filosófica, sem dúvida, torna-se muito mais motivador e interessante, até em muitos casos lúdico, permitindo que os alunos identifiquem que todo conhecimento é fruto do trabalho de diferentes personagens. Assim a Física não é apresentada como acabada, absoluta, dogmática, mas uma área que está em constante movimento e evolução, procurando as melhores respostas e soluções para problemas que é de interesse de toda a sociedade.

Quando pensamos em cultura vêm em mente as danças, as músicas, os pratos típicos, o estilo de vida de um povo, um idioma etc. Mas será que obras tão bem elaboradas como *Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* de

Isaac Newton, os *Os Diálogos Sobre os dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico* de Galileu Galilei, além de sua mais importante obra “*Discursos e Demonstrações Matemáticas Concernentes a Duas Novas Ciências*”, as grandes teorias da Relatividade, do Eletromagnetismo de Maxwell, uma bela equação como a de Schrödinger ou mesmo pensamentos filosóficos destes cientistas, será que tudo isso e muito mais não se trata também de cultura, um legado surpreendente que altera totalmente a vida social, que nos educam, que nos permitem uma vida mais confortável, será que tudo isso também não é cultura? Não é manifestação também de um povo ou mesmo de toda uma comunidade organizada? Sem dúvida que a Física também é cultura, pois é uma construção humana, seja onde for.

E nossas aulas também devem estar mescladas destas manifestações culturais, mostrando o quanto isto influencia o nosso modo moderno de viver. Para mudar tal quadro, Zanetic (2005) afirma que o ensino de Física não pode estar desarticulado da conceituação teórica, da experimentação, da história da Física, da filosofia da ciência e de sua ligação com a sociedade e com outras áreas da cultura. E continua, concluindo que somente assim é possível construir uma educação problematizadora, crítica, ativa, engajada na luta pela transformação social. No entanto, o requisito “problematização” não se esgota apenas nesta discussão.

A problematização tem sido alvo de diversas pesquisas no âmbito do ensino. Um problema de Física, por exemplo, pode ir de um simples “exercício de fixação”, que exija o uso único de equações, a um elaborado “questionamento”, o qual detém do aluno um alto grau de atenção, reflexão e planejamento para solução. Autores como Vilatorre *et al.*(2008) apontam que para problematizar uma situação, devemos refletir sobre a linguagem utilizada, os conhecimentos que os alunos já possuem, os interesses sobre o assunto, os objetivos a serem atingidos e o tempo disponível. Tais problemas, elaborados atendendo a estes requisitos, tornam-se mais significativos para os estudantes e motiva-os na busca pela solução. Vale citar também Bachelard (1936), segundo o qual todo o conhecimento se origina de problemas e que todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Dentro desta epistemologia

bachelardiana fica claro a complexidade em se elaborar os problemas, pois disto depende a formação do espírito científico.

Enfim, a Física é uma construção humana e deve ser ensinada como tal. E nas aulas de Física sempre deve-se abordar isto, seja através de um texto lido em sala de aula, em trabalhos de pesquisa (avaliativo ou não), ou mesmo no incentivo aos alunos para lerem biografias e textos informativos que tratem de aspectos históricos da Física. Espera-se desta forma dá uma maior contribuição na transição de um ensino totalmente tradicional para um mais libertador.

A arte de estudar a natureza, contemplá-la, analisá-la, interpretá-la e compreendê-la depende não apenas de ideias, hipóteses e teorias, mas de uma certa dose de experimentos. Por mais que as discussões filosóficas, epistemológicas e históricas a respeito do conhecimento científico, sua produção, desenvolvimento e transmissão gerem nós e pontos não compreendidos, todas elas reconhecem, ao final, que os experimentos científicos, alguns mais sofisticados e outros mais rudimentares, são parte da própria NdC. Eles estão no cerne de uma teoria, vindo antes ou vindo depois, e aqui neste trabalho o conhecimento é visto como algo que evolui ora linearmente, ora circular, aleatório às vezes, sofrendo rupturas e superando obstáculos epistemológicos (BACHELARD, 1996), vivendo crises e revoluções científicas (KUHN, 2006). Alguns experimentos surgem com mais intensidade numa época e transcende seu tempo, não que haja um experimento mais importante que outro, e ficam amplamente conhecidos e na literatura são ditos *experimentos históricos*.

Aqui não há uma preocupação em delinear uma definição para experimento histórico, mas apenas objetivamos estabelecê-lo como estratégia alternativa no Ensino de Física, e como ponto ligador entre duas áreas extremamente crucial no entendimento da Ciência, as quais são a Prática Experimental e a História da Ciência. O resgate de um experimento, mesmo de forma adaptada, como é feito aqui neste trabalho, requer planejamento, daí a necessidade de uma proposta didática.

Abaixo uma lista de experimentos históricos muito divulgados na literatura científica e outros meios de divulgação, aceitos tacitamente entre os experimentos mais cruciais e belos para a Ciência como um todo:

- *A experiência de Torricelli com o tubo de mercúrio*
- *Os espelhos ardentes de Arquimedes*
- *O experimento do plano inclinado de Galileu*
- *Decomposição da luz realizada por Isaac Newton*
- *Balde de Newton*
- *A balança de torção de Coulomb*
- *A experiência da dupla fenda de Young*
- *O experimento de Oersted com a bússola*
- *Faraday e a indução eletromagnética*
- *A balança de torção de Cavendish*
- *O experimento da gota de óleo por Robert Milikan*
- *A medida da velocidade da luz de Fizeau-Foucault*
- *O pêndulo de Foucault e a rotação da Terra*
- *O experimento de Joule para determinar o equivalente mecânico do calor*
- *O experimento de Michelson-Morley*
- *Paradoxo dos gêmeos do alemão Albert Einstein*
- *O espalhamento de Rutherford*
- *O experimento de Edington em Sobral*
- *A determinação de ondas gravitacionais no observatório Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory – LIGO*

Esta lista pode também ser encontrada em obras como *Os dez mais belos experimentos científicos* (CREASE, 2002), *Os grandes experimentos científicos* (RIVAL, 1997), *Descobertas acidentais em Ciências* (ROBERTS, 1995), que são livros escritos para divulgação científica. Mas então quando um experimento pode ser considerado um experimento histórico? Que características ele deve ter para ganhar este título? Quem pode determinar se um experimento é histórico ou não? Do ponto de vista filosófico e epistemológico o que estes experimentos representam para a Ciência? Uma característica apontada por Crease (2002) foi a simplicidade apresentada na maioria dos experimentos, deixando fora grande parte dos experimentos complexos realizados em sofisticados laboratórios pelo mundo, e da lista dos belos experimentos, muitos poderiam ser feitos numa mesa com um poder computacional não maior que o de uma régua de cálculo ou de uma calculadora. Isto não consiste totalmente numa visão romântica (nem assim aqui interpretamos) do fazer ciência, mas de fato na possibilidade de um simples aparato marcar prontamente o rumo de uma determinada descoberta.

Por sua vez, o experimento histórico não se revela apenas nos aparatos experimentais, também nas mentes de pessoas diretamente ligadas a um problema científico, como pode-se verificar na lista dois que têm essa natureza, os quais são o “Balde de Newton” e o “Paradoxo dos Gêmeos”. Estes são chamados de *gedankenexperiment*, termo do alemão que significa *experimento de pensamento*. Eles foram e continuam sendo amplamente usados na Ciência, desde os períodos pré-socráticos, onde a filosofia se confundia com a própria física, muito tempo antes que a superespecialização invadissem os meios “acadêmicos”, por assim dizer.

Os experimentos de pensamento têm exercido fundamental importância no desenvolvimento da Ciência em determinadas épocas, como pode-se inferir da investigação do surgimento de algumas áreas como a Física Estatística, Mecânica Quântica ou mesmo no início da Ciência Moderna, no alvorecer do século XVII. Em momentos de crises dentro da Ciência, no qual os velhos paradigmas vão sendo substituídos por outro(s) paradigma(s), tais experimentos são elaborados nas mentes ligadas às anomalias presentes na

Ciência Normal. A respeito disto o filósofo da Ciência Thomas Kuhn (2006) afirma:

Não é por acaso que a emergência da física newtoniana no século XVII e da Relatividade e da Mecânica Quântica no século XX foram precedidas e acompanhadas por análises filosóficas fundamentais da tradição de pesquisa contemporânea. Nem é acidental o fato de em ambos os períodos a chamada experiência de pensamento ter desempenhado um papel tão crítico no progresso da pesquisa. Como mostrei em outros lugares, a experiência de pensamento analítico que é tão importante nos escritos de Galileu, Einstein, Bohr e outros é perfeitamente calculada para expor o antigo paradigma ao conhecimento existente, de tal forma que a raiz da crise seja isolada com uma clareza impossível de obter-se no laboratório (THOMAS KUHN, 2006, p. 120).

Desta forma, os experimentos de pensamento, pelo menos aqueles que possuem o *status* de experimentos históricos apresentaram-se muito comuns dentro de uma Ciência dita extraordinária, que é aquela praticada quando um paradigma está em crise e novas mentes elaboram ideias que na maioria das vezes não se efetivam num laboratório, mas expõem a Ciência diretamente às anomalias e situações indesejadas e incompreensíveis para um determinado modelo. De fato, tais elaborações mentais abalam as bases de teorias antes confiáveis e plausíveis. Na Cinemática Galileana facilmente se identifica tais momentos como, por exemplo, na discussão de uma queda dos graves totalmente livre da interferência do ar. Galileu não podia realizar tal experimento, pois não se havia produzido regiões de vácuo com êxito, mas mesmo assim, por meio da imaginação, conseguiu pensar tal experimento e quais resultados poderiam ser encontrados em semelhante situação (corpos pesados e leves caem juntos no vácuo).

No entanto, o que foi afirmado acima também é válido para todos os experimentos históricos, pois em até certa medida eles demarcam momentos cruciais no desenvolvimento científico, refutando ideias antes aceitas como verdadeiras ou mesmo absolutas, ou então resgatando algumas que já haviam sido esquecidas. O experimento da perfuração de canhões pelo Conde Rumford (1753-1814) pontua o que aqui está sendo afirmado, por exemplo. Até

então o calor era tido como uma substância que fluía dos corpos em certas circunstâncias indefinidamente. E seu experimento mostra claramente a impossibilidade do calor ser de natureza substancial, porém de natureza mecânica, ou seja, o calor era resultado do movimento das partículas que constituíam a matéria do canhão. Esta possibilidade, da natureza mecânica do calor, já existia na mente de muitos cientistas, mas se concretizara no famoso experimento de Joule, quando ele determinou a equivalência mecânica do calor e com as contribuições de Rumford. E graças a experimentos e ideias quase originais como de Rumford e Joule é que foi possível romper com o paradigma vigente que era do calórico. Discutir tais rupturas dentro de um contexto escolar, traduz aos estudantes uma visão mais realística do fazer Ciência, assim como sua própria natureza.

Tais experimentos vem ao encontro das propostas para um ensino direcionado às pessoas em geral, independente de suas vocações ou mesmo destino profissional. Atualmente, os educadores têm defendido uma formação científica da população, mas que esta não alcance apenas aqueles estudantes que já possuem certas habilidades nas disciplinas como Física, Química e Biologia. Fala-se num ensino de Ciência para todos, sem a supervalorização de determinados indivíduos que se destacam nesse estudo e que, geralmente, são premiados por tal feito. A experimentação é fundamental quando utilizada no Ensino de Física e a maioria dos professores é unânime ao afirmar o potencial destas atividades como estratégias que permitem um aprendizado mais consistente. No entanto, a maioria não conseguem passar da teoria à prática e muitos são as justificativas. A respeito de tal fato, Gaspar (2014) diz na introdução de seu livro *Atividades Experimentais no Ensino de Física*:

Realizar práticas experimentais no ensino de Ciências, em particular de Física, é fundamental para a aprendizagem de conceitos científicos: não há professor, pesquisador ou educador da área que discorde desse preceito. No entanto, observa-se que a adoção dessa prática é muito rara por parte da maioria dos professores, tanto na sala de aula quanto em laboratório; na maioria das escolas públicas, é uma prática esporádica, assistemática e sem metodologia definida (GASPAR, 2014, p. 7).

Apesar dos inúmeros avanços em nosso sistema de ensino, as práticas experimentais nas escolas públicas, como bem afirma o autor acima, são atividades esporádicas, sem uma metodologia bem definida, bem acabada, que dê conta de tal compromisso, que é o de transmitir uma Física dinâmica, não dogmática, não tecnicista, que interpreta o mundo de uma forma particular. Isto se deve a muitos fatores, que vão desde a formação dos professores da área até nosso currículo escolar, onde as práticas de laboratório têm uma função secundária e marginal.

Portanto, a proposta do presente trabalho busca essa sistematização, definição, por meio de uma proposta didática com elementos da História da Ciência, resgatando o experimento histórico do plano inclinado de Galileu. Mas não se trata da prática pela prática, muito pelo contrário, trata-se de algo intencional, objetivo, onde são discutidos elementos anteriores à prática, em seguida a experiência propriamente dita e, por último, uma discussão dos resultados.

Os experimentos históricos, mas especificamente o do plano inclinado, apresentam dificuldades pertinentes e peculiares, pois na sua réplica ou na sua adaptação para a sala de aula, a fidelidade ao momento histórico, ao próprio experimento, torna-se na maioria das vezes inviável e impossível, mediante a natureza dessa busca. Por exemplo, a reconstrução de um pêndulo de Foucault nas medidas originais ou então a replicação de um plano inclinado com cerca de seis metros de comprimento não é tão estimulante para educadores que buscam uma investigação a nível de educação básica em Ciência. Assim, optou-se no presente trabalho por adaptações, no entanto mantendo a possibilidade de explorar alguns resultados encontrados por Galileu.

A busca pela caracterização das descobertas de Galileu no plano inclinado, no século XVII, abriu um leque de opiniões e sugestões contra e a favor da relevância deste experimento no pensamento galileano. Diversos historiadores e filósofos da Ciência levantaram questionamentos da possibilidade de tal experimento ter sido realizado. No entanto, não queremos investigar tal hipótese. Alguns interessados pela questão até refizeram o

experimento. Stillman Drake (1910-1993), um estudioso de Galileu do século passado, refez a experiência, juntamente com James MacLachlan, e publicou seus resultados em 1975, indicando que chegaram às mesmas medidas de Galileu. Já Ronald Naylor e Thomas Settle, refizeram o experimento em dois planos inclinados: um de cinco metros e outro de dois metros, apenas, ambos se encontram no Instituto de História e Filosofia das Ciências de Florença. Depois de seus testes experimentais, eles encontraram erros enormes nas medidas. Os resultados precisos anunciados por Galileu não eram possíveis sobre um plano ligeiramente inclinado, segundo estes estudiosos.

Opções divergentes foram e continuam sendo arquitetadas e reanimam os estudos galilaicos. Diante da riqueza do pensamento deste matemático e filósofo e sua importante contribuição para o surgimento da ciência moderna, optou-se, na atual pesquisa, explorá-lo em sala de aula, assim como já foi feito em outros trabalhos acadêmicos. Straulino⁵ (2008) num artigo reconstrói o experimento de Galileu e utiliza-o como estratégia de ensino para estudantes de quatorze a dezoito anos. Apesar das dimensões serem distintas, o plano inclinado de Straulino possuía cerca da metade do comprimento do de Galileu, os resultados apresentaram-se satisfatório, segundo o pesquisador:

Percebemos que os alunos estavam muito interessados na experiência e nos resultados. Concluiu-se que esta abordagem histórica tem várias vantagens.

1. O valor pedagógico da narrativa histórica deve ser enfatizado como a narrativa histórica ajuda o aluno a compreender que a partir de Galileu, muitos dispositivos foram projetados e construídos pelos físicos para responder a perguntas precisas e que esta é a base da abordagem experimental.
2. Os alunos gostaram de refazer os passos de Galileu, enquanto estudava as leis do movimento, bem como estavam envolvidos na concepção e construção do plano inclinado e relógio de água, em vez de levar a cabo um experimento que já foi configurado, como é frequentemente o caso.
3. Os professores de outras disciplinas, como filosofia e história podem ser envolvidos na leitura do texto original e na colocação da

⁵ Professor do Departamento de Física na Universidade de Florença, Itália.

aventura humana e científica de Galileu em seu contexto histórico (STRAULINO, 2008, p. 320, tradução nossa).

Explorar o tema da experimentação na construção de uma cinemática galileana, segundo o autor acima, tem um valor pedagógico porque transmite uma imagem mais real da Ciência, demonstrando que apesar de todas as dificuldades, presentes no trabalho de Galileu, a reconstrução do momento histórico permite entender como este pensador lança as bases de uma Ciência exata, por meio da experimentação e da matemática, capaz de prever fenômenos naturais e entendê-los da forma mais racional possível. Em outros trabalhos há também a implementação do estudo do plano inclinado em aulas de Física, por meio da experimentação em laboratório (SANTOS, 2013) ou da simulação computacional (PAULA, 2006). Em ambos, os autores chegam a conclusão que este resgate histórico é fundamental no entendimento da Ciência e na assimilação de conceitos cinemáticos:

A análise das respostas dadas nas situações de aprendizagem, nas questões da avaliação da atividade, bem como as discussões desenvolvidas durante a aplicação das mesmas sugerem indicadores de aprendizagem efetiva durante a atividade do plano inclinado de Galileu Galilei (...) Eles (os estudantes) conseguiram ainda utilizando tais procedimentos verificar que o movimento no plano inclinado era do tipo uniformemente variado, entrando em contato com a parte histórica deste experimento clássico, vendo como Galileu teria feito para realizá-lo, as dificuldades que ele enfrentou e conheceram ainda a controvérsia existente entre os historiadores da ciência que debateram se o grande físico teria efetivamente conseguido realizar este experimento (SANTOS, 2013, p. 99).

O valor educativo da prática experimental, juntamente com a abordagem histórica, abre caminho na viabilidade de efetivar a aprendizagem científica dos estudantes, motivá-los no estudo da Física e retificar diversos conceitos alternativos no entendimento de alguns fatos, ou seja, sua alfabetização científica. Concretizar tal intenção ficou registrado também em outras tentativas, como na Era dos Grandes Projetos (PSSC, Harvard, FAI, PEF, Nunfield etc.) ou mesmo em documentos, que em nosso país são melhores exemplificados pelo PCNEM.

Mas diferentemente destas buscas incessantes pela introdução do laboratório nas aulas ou no currículo de Ciências, mais especificamente de Física, o resgate do experimento histórico do plano inclinado gera uma esfera de discussões de outros aspectos, de caráter histórico, filosófico e epistemológico, e não uma ingênua crença de que o laboratório seja a solução mágica para os problemas de nosso ensino. Muito pelo contrário, demonstra que o “fazer ciência” têm suas dificuldades e que a experimentação tem suas limitações, até mesmo para aqueles considerados gênios, como o que pode-se inferir de uma análise histórica das descobertas de Galileu. Neste sentido, pode-se perceber a real importância de uma proposta didática que resgate as raízes históricas da cinemática galileana.

4 A TEORIA DE VYGOTSKY

Aqui neste capítulo trataremos superficialmente, mas coerentemente, da teoria sócio-interacionista da aprendizagem. Lev Semenovich Vygotsky nasceu em 17 de novembro de 1896, na antiga Bielo-Rússia, na cidade de Orsha. Seus pais eram judeus e a Rússia vivia um período pós-revolução, contexto que marcou não só a vida de Vygotsky como também os rumos de sua trajetória e obra acadêmicas. Tornou-se um erudito com interesses amplos, incluindo Literatura, Arte, Medicina, Psicologia, Biologia, Linguística, História e Filosofia, deixando em sua breve obra fortes traços de interdisciplinaridade.

Aos dezessete anos, Lev Vygotsky ingressou no curso de Medicina em Moscou, pois era um dos únicos cursos com cotas para judeus na Universidade de Moscou, porém transferiu-se para o curso de Direito, obtendo o bacharelado em 1917 (em Direito e Literatura), além de completar seus estudos também em História e Filosofia na Universidade Popular de Shanyavskii, que na época era uma universidade independente e sem discriminação.

Após participação no II Congresso de Psiconeurologia da antiga Leningrado, em 1924, recebe um convite para retornar a Moscou, para compor a equipe do Instituto de Psicologia Experimental. Lá ele permaneceria até sua morte precoce, aos 37 anos, por tuberculose. Dentro de um ideário contaminado pelo sentimento revolucionário ele, juntamente a Luria (1902-1977) e Leontiev (1904-1979), desenvolveram pesquisas no campo da psicologia com o propósito de compreender o comportamento humano, explorando áreas como pensamento, linguagem, cultura, aprendizagem etc. Sua obra contém influências do materialismo histórico-dialético de Marx (1818-1883) e Engels (1820-1895), e foi amplamente criticada no governo de Stalin (1878-1953) e proibida dentro da União Soviética, daí o seu (quase) total desconhecimento dentro do mundo ocidental. Sua obra só tornou-se conhecida fora da Rússia quando publicada em inglês uma versão de *Pensamento e Linguagem*, após trinta anos, em 1962. De lá para cá suas ideias e resultados estão sendo valorizadas e exploradas, implicando em contribuições efetivas no campo da Psicologia e da Educação. A dedicação incansável de Vygotsky é

marcante em sua curta vida. Somente a partir de 1984 sua obra é conhecida no Brasil.

4.1 Elementos da teoria de Vygotsky

A teoria de Vygotsky do desenvolvimento humano faz parte de um grande número de teorias da Psicologia que se dedicaram a compreender o homem e sua relação com o meio. Dentre estas encontramos a *Teoria Psicogenética de Piaget*, *Teoria Construtivista de Bruner*, *Gestaltismo*, *Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel*, *Teoria de Inteligências Múltiplas de Gardner* etc. As teorias do desenvolvimento são, geralmente, enquadradas como comportamentalista, cognitivista ou humanista, dependendo de seus enfoques e ideias centrais.

Na realidade, elas não são todas teorias da aprendizagem, no entanto são muitas as implicações para o campo educacional, a tal ponto de serem conhecidas como *teorias de aprendizagem*. Quanto a isto Moreira (2011, p. 12), por exemplo, declara abertamente em seu livro *Teorias de Aprendizagem* que “A teoria de Piaget é uma teoria do desenvolvimento cognitivo (...) Mas esta teoria tem tantas implicações para a aprendizagem que é muitas vezes rotulada (...) como teoria de aprendizagem”. Tal fato também acontece com a teoria de Vygotsky que tem sido utilizada por vários pesquisadores em Educação para ancorar seus trabalhos e, desta forma, melhorar os resultados da prática educacional. Por este motivo iremos elencar alguns elementos desta teoria que foram úteis na interpretação dos resultados da presente pesquisa, assim como norteá-la.

Dentro do conjunto cognitivista, Vygotsky interpreta o comportamento humano como resultado da interação homem-meio, mediada por *signos* e *instrumentos*. Pare ele o mais importante não seria nem o homem e nem o meio, mas a relação entre eles, ou seja, sua abordagem psicológica buscava compreender em todas as etapas o *processo* que resulta no desenvolvimento da pessoa. Tal desenvolvimento não podia ser dado *a priori* como apresentado em teorias, como a piagetiana, que supraestimaram o fator biológico, aquilo

que é inato ao ser, no entanto só podia ser compreendido na relação do homem com o contexto social e cultural. Este é o principal pilar desta teoria, defendendo sempre os *processos mentais superiores*, como a *fala* e o *pensamento*, têm origem nesses processos sociais, refletindo diretamente as influências marxistas.

Segundo Vygotsky (2008) o desenvolvimento cognitivo da pessoa acontece a partir da transformação das relações sociais em funções mentais, da mais elementar até a mais sofisticada. Apesar de postular tal processo, ele prosseguiu na busca de entender como isto acontece. Tal fato fica evidente na conhecida *Lei da Dupla Formação*, onde cada função aparece duas vezes, primeiramente em nível social (interpessoal, interpsicológico) para depois migrar para o nível pessoal (intrapessoal, intrapsicológico). É esta transição que interessa a Vygotsky.

A fala nas crianças, por exemplo, vai de uma *fala exterior* a uma *fala interna*. Neste caminho, a criança desenvolve um monólogo, denominado de *fala egocêntrica*, ela pensa em voz alta, fala dela própria, não se preocupa em manter comunicação com o interlocutor, nem sequer está atenta se alguém a ouve. Ele (Vygotsky) precisava da fala egocêntrica para esclarecer as duas funções da fala, no entanto entende esta fala egocêntrica diferente de Piaget, que a considerava um “devaneio” da criança, não cumprindo nenhuma função no desenvolvimento desta. Quanto a isto Vygotsky (2008) diz:

Na sua descrição do discurso egocêntrico e do seu desenvolvimento genético, Piaget sublinha que esse discurso não cumpre nenhuma função no comportamento da criança e que se limita a atrofiar-se à medida que a criança atinge a idade escolar. As experiências que nós próprios levamos a cabo, apontam para conclusões diferentes. Estamos em crer que o discurso egocêntrico assume desde muito cedo um papel muito definido e importante na atividade da criança (VYGOTSKY, 2008, p. 19).

As conclusões de suas pesquisas diferem diametralmente daquelas de Piaget, pois para ele, segundo os dados coletados em experiências com crianças, o coeficiente de fala egocêntrica torna-se duas vezes maior que aquele previsto pela teoria piagetiana, além de auxiliarem as crianças na

execução de suas atividades. A fala egocêntrica vem da fala social e representa o uso da linguagem na *mediação* das ações, então as crianças conversam para resolver os problemas de seu cotidiano, e quanto mais complexos estes mais elas exploram a fala.

O processo de *mediação* pode ser desempenhado pelos *instrumentos* e pelos *signos*, segundo Vygotsky. A conversão da fala externa à fala interna, citada acima, só é possível por meio da mediação, ou seja, a internalização de uma função social externa só acontece dentro de um ambiente próprio dos humanos, tanto histórico como cultural. Os instrumentos são compreendidos como algo para realizar alguma coisa, enquanto os signos é algo que significa alguma outra coisa (MOREIRA, 2011). Ambos são construídos culturalmente e de fato seus usos diferencia os humanos dos outros seres vivos na sua forma de se relacionar com o mundo.

Os signos podem ser do tipo *indicadores*, *icônicos* e *simbólicos*. Os signos mediam a relação homem-mundo, como por exemplo a linguagem agrega os diversos conceitos generalizados dentro de nossa cultura e possui uma relação estreita com o surgimento e uso do pensamento, ou seja, é através da apropriação destes signos e instrumentos que o homem se desenvolve cognitivamente. Diferente de outras abordagens, a teoria sócio-histórica de Vygotsky defende que o desenvolvimento acontece pela assimilação daquilo que está no contexto social e cultural e interiorizado, e não no sentido contrário, onde os estágios de maturação é que determinam o nível de desenvolvimento.

Os signos e instrumentos carregam algo relevante para o nosso desenvolvimento humano, trata-se do *significado*. Os homens compartilham os significados das coisas. Todos os objetos, por exemplo, têm uma carga de significado, cada objeto tem uma função, uma definição, uma caracterização, quem sabe uma origem conhecida, pode ser perigoso, útil para algo e inapropriado para outro, e tudo isto é compartilhado, é dividido nas relações sociais. Uma criança não conhece o mundo, as coisas, os objetos, a língua, o corpo, a religião, necessita de um mediador para ensinar-lhe que uma cadeira

é uma cadeira e serve para sentar-nos, quem sabe descansar, trabalhar, seguir em viagem.

Para internalizar os signos o homem precisa captar os significados já aceitos dentro de uma sociedade. Só assim a criança poderá aprender que o simples ato de apontar para um objeto pode significar “Por favor, pegue aquilo para mim”. Mas depois descobre que este mesmo gesto pode ter outros significados, dependendo da cultura, do local, do momento, do contexto.

A formação de conceitos na mente da criança, que pode ser estendido também ao adolescente e ao adulto, acontece por meio da mediação e da interação entre pessoas com diferentes graus de instrução. Pode-se identificar em Vygotsky (2008) que a formação de conceitos na criança se dá primeiramente por meio de uma agregação desorganizada ou *amontado*, onde os objetos aglutinam-se em sua mente de maneira difusa, através de tentativas e erros. Isto avança para um *pensamento por complexo*, onde mais vale as relações entre os objetos a serem internalizados a que a percepção imediata da criança. Nesta fase fica nítida a formação de *pseudoconceitos* que liga o pensamento da criança ao pensamento do adulto, no entanto não podemos considerá-lo um conceito por faltar com a abstração e pode ser identificado como predominante no pensamento da criança. A respeito dos pseudoconceitos Vygotsky (2001, apud GASPAR, 2014) diz

Mas a criança não pode assimilar de imediato o modo de pensamento dos adultos, e recebe um produto que é semelhante ao produto dos adultos, porém obtido por intermédio de operações intelectuais inteiramente diversas e elaborado por um método de pensamento também muito diferente. É isto que chamamos de pseudoconceitos. Obtém-se algo que, pela aparência, praticamente coincide com os significados das palavras para os adultos, mas o seu interior difere profundamente delas (VYGOTSKY 2001, p. 193 apud GASPAR, 2014, p. 117).

Diante do exposto, presume-se que a criança tende a usar mais os pseudoconceitos a qualquer outro, pois este está diretamente ligado ao campo do visível, à sua percepção, à sua experiência. Para a maioria dos alunos, de acordo com GASPAR (2014) pronunciar a palavra *densidade* já é o bastante

para compreender a flutuação de um corpo num fluido, porque estão mais abertos a pensar por pseudoconceitos, indicando que de fato ainda não compreenderam tal fenômeno.

Outra fase na formação dos conceitos é a dos *conceitos potenciais*, que resultam de uma espécie de abstração tão primitiva que, a rigor, não sucede o estágio dos pseudoconceitos, pois está presente, em certo grau, já nas fases iniciais do desenvolvimento da criança (MOREIRA, 2011). Podemos considerar que estes conceitos podem ser formados tanto na esfera do pesamento perceptual, como naquele mais voltado para as ações, para a inteligência prática. Na formação dos conceitos, ou seja, na transição para o pensamento por conceito genuíno, a palavra desempenha um papel fundamental, pois ela sintetiza os atributos das coisas.

Outro ponto importante nas ideias vygotskianas é como se dá a relação entre *conceitos espontâneos* e *conceitos não espontâneos* na mente da criança e do adolescente, permitindo a origem dos verdadeiros conceitos. Os conceitos espontâneos podem ser entendidos como aqueles em que o indivíduo apreende em sua vida cotidiana, influenciado por terceiros, enquanto que num ambiente escolar formal, os conceitos são amplamente sistematizados e usados por uma comunidade com padrões de aceitação próprios, e podem ser considerados *científicos*.

Uma outra diferença é que no ambiente escolar, geralmente, o parceiro mais capaz é um professor. Apesar disto, Vygotsky (2008) afirma que desde o princípio os conceitos científicos e espontâneos da criança se desenvolvem em sentidos inversos, partindo de pontos distintos, mas movendo-se um em direção ao outro, ou seja, eles estão estreitamente relacionados. Isto equivale dizer que para assimilar determinado conceito científico o indivíduo precisa situá-lo entre outros conceitos, que podem ser até mesmo cotidianos, e geralmente o são, isto é, o avanço da criança no desenvolvimento dos conceitos científicos dependem daquele dos conceitos espontâneos, no sentido invertido isto também poderá ser verdadeiro.

Dentro desta concepção sócio-interacionista de Vygotsky pode-se entender que o desenvolvimento produz a aprendizagem, contudo, a

aprendizagem também produz o desenvolvimento, numa relação mútua, cíclica e viciosa. No entanto, fica a pergunta “em que condições o indivíduo aprende?” Primeiro, é preciso afirmar que deve haver a mediação, um parceiro mais capaz, da qual trataremos adiante. Em segundo, surge o que Vygotsky chamou de Zona de Desenvolvimento Imediato (ZDI). Este conceito equivale dizer que só é eficaz o aprendizado direcionado aos níveis de desenvolvimento que ainda não foram atingidos, diferente de outros teóricos que procuravam condicionar o aprendizado ao nível de desenvolvimento. Então esta Zona compreende a distância entre aquilo que a criança é capaz de fazer sozinha e aquilo que ela realiza por meio da cooperação com um parceiro mais capaz. O conceito de ZDI é talvez a ideia mais conhecida dentro do campo educacional.

A teoria de Vygotsky apresenta muitos elementos úteis na elaboração de propostas didáticas que busquem a aprendizagem e o desenvolvimento dos estudantes, dentro de um ambiente de interação social entre os personagens, sempre mediada.

4.2 O papel do professor na interação escolar

O ambiente escolar é, por excelência, um espaço privilegiado onde acontece de fato o processo de ensino-aprendizagem, pelo menos, em tese, no que tange aos conceitos não espontâneos, ou mais especificamente, os científicos. Dentro deste panorama, o papel do professor sempre foi discutido e pauta de muitas reformas do ensino de Ciência.

No Brasil, por exemplo, propostas como o PEF e o FAI, anteriormente apresentadas, reduziram o processo de ensino à interação aluno-material, onde o professor não desempenhava uma função essencial. No PSSC o sentimento também foi semelhante, o aluno seria capaz de redescobrir as leis científicas a partir da experimentação, desde que seguisse as orientações do material de laboratório, que acompanha o livro-texto. Quanto ao fracasso destas primeiras reformas do ensino de Ciência, Gaspar (2014) afirma

A segunda causa desse fracasso se deveu a uma fundamentação pedagógica unânime e equivocada: a crença na aprendizagem

individual do aluno por meio de sua interação direta com o material produzido (GASPAR, 2014, p. 30).

A parte sublinhada (por nós) resume bem o que afirmamos e mostra a fragilidade destas primeiras tentativas de reforma, desvalorizando o papel do professor dentro do processo escolar de ensino. Contudo, a teoria de Vygotsky tem ganhado espaço, e quanto ao problema aqui levantado, resgata o papel do mestre como parceiro mais capaz, aquele que medeia o processo, orienta e estabelece uma enculturação científica, dentro das possibilidades.

Na interação escolar, o sujeito é constituído como tal, estabelece seu desenvolvimento nas interações físicas, simbólicas, sociais, históricas e culturais que acontecem neste ambiente, daí a importância de se verificar e compreender o papel de cada indivíduo, permitindo que as ações dos alunos, mediada pela ação do professor, congregue os fatores necessários à construção do conhecimento de ambos. No entanto, não se trata de uma relação de poder, construída verticalmente ou numa única direção (do professor para o aluno), nem o estudante é uma tábula rasa, como querem os inatistas, muito pelo contrário, este traz para a interação escolar seus conhecimentos espontâneos, concretizados na sua vivência diária com outros adultos (VYGOTSKY, 2008).

Quanto a isto a teoria de Vygotsky traz muitos pontos positivos, valorizando o papel do professor e da escola no desenvolvimento e aprendizagem do aluno, negando a dicotomia aluno-professor, mas buscando compreender a relação entre eles, e condicionando os avanços cognitivos ao fator sócio-cultural. Isto equivale dizer que para o ser desenvolver-se, nos diferentes aspectos, é preciso interagir, compartilhar dos significados já estabelecidos e aceitos culturalmente, como a fala, o pensamento, os signos, os instrumentos etc.

Um ensino efetivo acredita na função mediadora do professor, por entender ser este o parceiro mais capaz, que conhece os conceitos, a disciplina, além de vislumbrar que o desenvolvimento intelectual dos estudantes não está organizado na mesma estrutura do currículo escolar,

portanto a pessoa do professor se faz mais que necessário para esta transposição didática.

Em contrapartida, a aprendizagem como consta na teoria vygotskyana precede o desenvolvimento, ou seja, o professor deve elaborar as estratégias de ensino que se encontram à frente da ZDI, como apontado anteriormente, caso contrário não poderão promover uma aprendizagem de fato. E os resultados das pesquisas de Vygotsky esclarecem que o aluno aprende muito mais quando em cooperação, primeiramente num processo de imitação (não uma imitação mecânica) e só depois capazes de realizar suas atividades sozinhos, quando já ocorreu uma alteração em sua ZDI, atingindo agora novos limites e permitindo avançar mais (VYGOTSKY, 2008). Quanto a este processo não mecânico de imitação Vygotsky (2008) afirma:

Para imitar, é preciso dominar os meios necessários para avançar de algo que conhecemos para algo que desconhecemos. Com auxílio externo, todas as crianças podem fazer mais do que o que conseguiriam por si sós – embora apenas dentro dos limites impostos pelo seu grau de desenvolvimento (...) A imitação é indispensável para se aprender a falar, assim como para aprender as matérias escolares. A criança fará amanhã sozinha aquilo que hoje é capaz de fazer em cooperação (VYGOTSKY, 2008, p. 129).

Em todo o processo, como esclarecido acima, é essencial a cooperação entre estudantes e professor, para que ambos, ao final, compartilhem dos mesmos significados e que no ato de imitar o estudante concretize a aprendizagem e assimile os conceitos dominados pelo professor, pelo menos num primeiro estágio, para depois avançar para um limite diferente.

4.3 As práticas experimentais numa perspectiva vygotskyana

O laboratório didático (práticas experimentais) já foram enfaticamente discutido e analisado anteriormente, portanto, trataremos aqui, de forma breve, apenas de alguns direcionamentos e implicações oriundas da teoria de Vygotsky, com base em análises feitas por outros pesquisadores e também de acordo com nossa própria leitura construída ao longo do mestrado.

Os elementos elencados como *mediação*, *ZDI*, *formação de conceitos*, *conceitos espontâneos* e *conceitos não espontâneos*, *aprendizagem por imitação*, *significado*, *pseudoconceitos*, dentre outros, podem auxiliar numa prática experimental que preze pela aprendizagem dos participantes. Isto é válido em qualquer estratégia pedagógica no ensino, com ou sem prática. Primeiramente, esclarecemos que Vygotsky resgata o papel do professor, pois este é indispensável em todas as etapas de uma prática de laboratório, desde seu planejamento, obtenção do material, elaboração de objetivos, metodologia, organização do conteúdo, montagem e direcionamento da execução da prática. No entanto, vale lembrar que à medida que o estudante irá se familiarizando com a prática a colaboração do professor pode tornar-se mais limitada (GASPAR, 2014).

Algo importante a ser dito, é que as práticas escolhidas pelo professor devem está dentro da ZDI do estudante. Práticas que resgatem fatos que os alunos já dominam dentro de seu cotidiano, compreendendo os processos pertinentes, pouco ou nenhum resultado alcançará. Deve ser algo desafiador, motivador, que dificilmente algum estudante poderia executar ou compreender plenamente sem a mediação de um parceiro mais capaz, diretamente ou indiretamente. Daí a relevância em investigar como esta zona está estabelecida na estrutura mental do estudante, com auxílio dos resultados das pesquisas de Vygotsky, o que é diferente de tentar conhecer os limites desta zona, ponto deixado em aberto dentro desta teoria.

A interação social é facilmente explorada quando as atividades experimentais são planejadas para um grupo, mediada pelo professor. As argumentações, as hipóteses levantadas, as discussões são viáveis e significativas para este propósito. A respeito deste fato, Gaspar (2014) afirma que

Pode-se adotar, como princípio básico de uma pedagogia de inspiração vigotskiana, que todo conteúdo de ciências humanas, exatas ou biológicas pode ser ensinado e aprendido por meio das mais variadas estratégias pedagógicas, desde que elas possibilitem o desencadeamento de interações sociais das quais participe o professor ou, eventualmente, outro parceiro mais capaz que domine

cognitivamente o conteúdo que é o objeto de ensino dessa interação (GASPAR, 2014, p. 209).

Como elencado acima, a interação social deve fazer parte de qualquer atividade que tenha o propósito de promover uma aprendizagem, pois como já dito, a construção do conhecimento se dá em meio às interações, à troca de significados, de conceitos já estabelecidos culturalmente. Mais uma vez é citado a relevância de um parceiro que domine o conteúdo ou a prática, para que seja possível a transição do pensar por pseudoconceitos para aqueles conceitos genuínos (verdadeiros), por exemplo.

Numa perspectiva vygotskyana qualquer prática educativa pode ser eficiente, quando se trata de ensinar aquilo que faz parte de nossa cultura, desde que seja mantida a interação social, no entanto, as atividades experimentais apresentam algumas possíveis vantagens, como a *motivação* e a *concretização de conceitos* (GASPAR, 2014). Esperamos que estas recomendações sejam assimiladas positivamente por aqueles que desejam uma melhoria no ensino de Ciência.

5 METODOLOGIA

5.1 Identificando o campo de pesquisa

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus Santa Inês, BR – 316, Canaã, s/n, é uma Instituição de Ensino Superior do Sistema Federal de Ensino instituída por força da Lei Nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008, que criou a Rede Federal de Educação Profissional. O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia é oriundo da incorporação do Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão e das escolas Agrotécnicas Federais de São Luis, Codó e São Raimundo das Mangabeiras, sendo o segundo maior do Brasil em número de unidades. O IFMA – CAMPUS SANTA INÊS está em funcionamento desde 2008, oferecendo cursos de nível médio e de nível superior. A foto abaixo mostra, em parte, a estrutura física do campus.



Figura 3: Foto da fachada do IFMA – Campus Santa Inês

Fonte: créditos da imagem <http://mayconalves.com.br/> Acessado em: 24/09/16

O IFMA campus Santa Inês oferece cursos regulares nos turnos matutino, vespertino e noturno, nos seguintes níveis e modalidades: Ensino Médio Integrado à Educação Profissional em: Edificações, Logística, Eletroeletrônica e Eletromecânica. Oferece ainda na modalidade Proeja os cursos: Técnico em Cooperativismo, Técnico em Infraestrutura Escolar e Técnico em Edificações e na modalidade subsequente os cursos técnicos de:

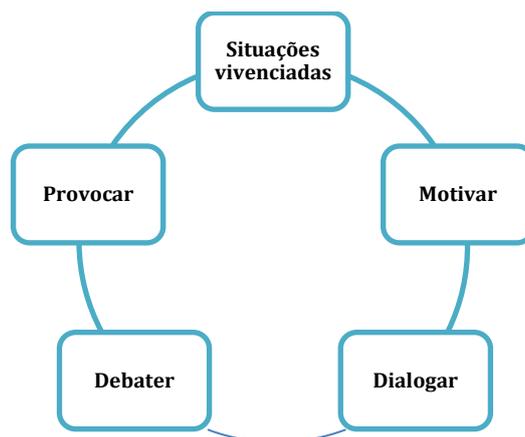
Edificações e Administração. A nível superior oferece os cursos: Licenciatura em Física, Bacharelado em Administração, Tecnólogo em Construção de Edifícios e Licenciatura em Física, pelo PARFOR.

O campus oferece estrutura adequada para a realização da pesquisa, mediante salas de aula espaçosas, possibilitando uma maior dinâmica nas diferentes etapas do projeto, além de laboratório próprio de Física, que tanto é usado na Educação Básica como na Educação Superior, com equipamentos auxiliares na atividade prática com o plano inclinado e, de fato, nesse espaço foi realizado a análise experimental. Diante do exposto, verificou-se a viabilidade na execução de todas as etapas previamente planejadas pelo professor-pesquisador. O quadro de estudantes também é favorável, pois se apresenta de forma heterogênea tanto na faixa etária como nas habilidades mecânicas e cognitivas. Os alunos da turma de Eletroeletrônica 2016 participaram de todas as etapas de execução da proposta didática.

5.2 Implementação da proposta didática

A proposta didática foi devidamente fundamentada na obra *A Prática Educativa* (Zabala, 1998). Aqui entende-se uma proposta didática não como um conjunto de passos, fixamente estabelecido e engessado, mas uma estratégia capaz de prever situações indesejadas e mesmo assim continuar em execução. As diferentes partes da proposta não estão isoladas, mas interligadas e são dependentes entre si, elas se retroalimentam (às vezes num movimento circular). O professor-pesquisador apresenta-se como um *mediador* (VYGOTSKY, 2008) um parceiro mais capaz que conduz o processo dialogando com o material e com os alunos, em especial. A proposta revela a importância de uma prática mais investigativa em sala de aula. Abaixo descrevemos melhor a proposta utilizada na pesquisa efetuada, deixando claro a intenção de cada etapa.

- a) *Motivar:*** *o aluno deve está motivado para iniciar uma atividade desta natureza. Logo a proposta didática aqui utilizada incluem situações que fazem sentido para os estudantes, situações concretas.*



- b) **Explicitar as perguntas e problemas:** os problemas foram introduzidos a partir do diálogo entre os personagens das aulas, deixando claro os objetivos de cada passo da proposta e seus propósitos.

PERGUNTAS x
PROBLEMAS

- c) **Respostas intuitivas ou hipóteses:** os conhecimentos anteriores dos alunos, muitas vezes alternativos na compreensão de conceitos físicos, foram fundamentais para executar a proposta.

CONCEPÇÕES PRÉVIAS

- d) **Determinar os instrumentos para a busca de informação:** num momento oportuno foram esclarecidos quais os instrumentos seriam necessários, incluindo a proposta com textos históricos, além da prática experimental, previamente elaborada pelo professor.

EXPERIÊNCIA DIRETA



EXPERIMENTAÇÃO

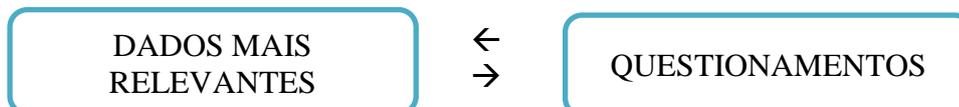
- e) **Esboçar as fontes de informação e planejamento da investigação:** planejar tem sido uma peça fundamental da presente pesquisa, que permitiu de fato investigar em sala de aula.

DEFINIR, PLANEJAR e AJUSTAR

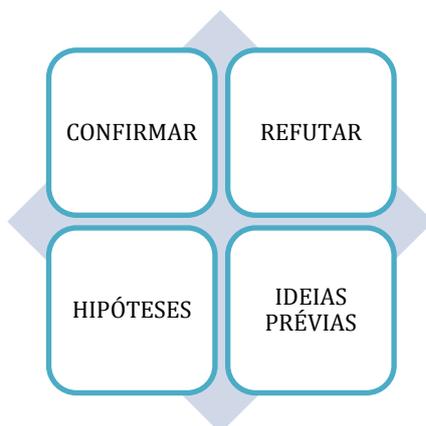
- f) **Coletar dados:** o registro de dados foi feito mediante fotos, vídeos e gravação de áudios para as posteriores análises, identificando os avanços nas habilidades e competências pensadas para a prática.

DADOS QUALITATIVOS

- g) **Selecionar e classificar os dados:** *diante do grande número de dados foi feita uma seleção daquilo que realmente era de interesse nas falas dos alunos e discussões entre eles, estimulada pelo professor.*



- h) **Concluir:** *após análise da prática, as conclusões foram feitas e enumeradas para melhor compreender o executado.*



- i) **Refletir toda a pesquisa:** *a reflexão incluiu falas dos alunos, discussão com o professor, por meio de perguntas previamente estabelecidas e problematizadoras; estabelecer um link com a vivência dos alunos foi essencial.*

A proposta didática foi dividida e executada em cinco passos. Os quadros 2, 3, 4, 5 e 6, a seguir, melhor representam como a pesquisa foi feita.

Quadro 2: Momento de Aprendizagem - Passo 1

MOMENTO DE APRENDIZAGEM – PASSO 1

Descrição da atividade	Objetivo	Data	hora/aula
Fundamentação teórica: estudo da Cinemática	<i>Identificar e assimilar os conceitos de Cinemática</i>	04/07/16	1
Exercícios de Aplicação	<i>Aplicar os conceitos e as equações de Cinemática</i>	04/07/16	1
Texto 1: <u>As Raízes Históricas da Cinemática</u>	<i>Resgatar as origens e evolução da Cinemática</i>	04/07/16	½

Questionamentos	<i>Refletir a importância do estudo do movimento, do ponto de vista histórico</i>	04/07/16	½
-----------------	---	----------	---

Quadro 3: Momento de Aprendizagem - Passo 2

MOMENTO DE APRENDIZAGEM – PASSO 2

Descrição da atividade	Objetivo	Data	hora/aula
Texto 2: <u>As Raízes Históricas da Queda Livre</u>	<i>Resgatar as origens e a evolução do estudo da queda livre</i>	11/07/16	1
Questionamentos	<i>Problematizar o movimento de queda livre</i>	11/07/16	1

Quadro 4: Momento de Aprendizagem - Passo 3

MOMENTO DE APRENDIZAGEM – PASSO 3

Descrição da atividade	Objetivo	Data	hora/aula
Texto 3: <u>O Plano Inclinado de Galileu – Objeto da Cinemática Galileana</u>	<i>Desmistificar o tema “plano inclinado”</i>	13/07/16	1
Momento Experimental	<i>Vivenciar, aplicar e verificar algumas descobertas feitas por Galileu</i>	13/07/16	2
Questionamentos e Reflexão	<i>Problematizar, refletir e repensar as descobertas científicas</i>	13/07/16	1
Conteúdo e Exercícios: Queda Livre	<i>Confrontar uma aula com abordagem histórica e outra mais convencional</i>	13/07/16	½

Quadro 5: Momento de Aprendizagem – Passo 4

MOMENTO DE APRENDIZAGEM – PASSO 4

Descrição da atividade	Objetivo	Data	hora/aula
Intervenção do mediador: Aula expositiva	<i>Organizar as ideias dos estudantes quanto à origem e evolução dos conceitos da cinemática galileana; desmistificar o “fazer ciência”; desconstruir preconceitos com respeito a NdC</i>	01/08/16	1

Quadro 6: Momento de Aprendizagem 5

MOMENTO DE APRENDIZAGEM – PASSO 5			
Descrição da atividade	Objetivo	Data	hora/aula
Atividade Avaliativa: dez questões de múltipla escolha	Organizar as ideias dos alunos, concretizando algumas mudanças conceituais quando necessário Efetivar a assimilação dos conceitos	08/08/16	2

A terceira etapa (*Passo 3*) pôde ser identificada como um procedimento experimental de uma prática de laboratório – um *roteiro*. No entanto, diferenciou-se muito deste, pois não há uma rigidez das “receitas” das práticas tradicionais (ALVES, 2000). Elementos de História da Ciência, em especial da vida e obra de Galileu, foram fundamentais aqui, pois guiaram os procedimentos, é claro com alguns incrementos, peculiares à pesquisa. Aqui não se trata de uma réplica do físico, mas constantemente recorreremos à obra do autor para manter uma certa consistência com o propósito da pesquisa, inclusive o diálogo entre os personagens de “*Duas Novas Ciências*” (GALILEU, 1638) é que serviram de guia experimental. Conhecer os instrumentos foi essencial nesta etapa, assim como refletir a respeito dos procedimentos.

5.2.1 Momento de aprendizagem: Passo 1

Na etapa “Momento de aprendizagem: Passo 1” seguimos a estrutura de uma aula nos moldes mais tradicionais, iniciando com a exposição do conteúdo, que aqui trata-se de *Cinemática*, avançando para exercícios mais mecânicos e técnicos (num total de dois exercícios) e, por último, a tentativa de resgatar um pouco da História da Cinemática, por meio do texto 1 – planejado para tal finalidade (o material entregue aos alunos encontra-se no apêndice A). Isto muito se identifica com alguns capítulos de livros didáticos, nos quais o conteúdo surge primeiro, acompanhados por exercícios de fixação ou

propostos e na parte final do texto vem, em forma de apêndice mesmo, a abordagem histórica.

A turma foi dividida em pequenos grupos, no objetivo de manter a colaboração entre os membros. Os exercícios foram resolvidos. Os estudantes seguiram a leitura e gravaram os áudios dos questionamentos encontrados no transcorrer da atividade e enviados para o email do professor, para posterior análise. Nesta etapa foram gastos 03 aulas como mostrado na Quadro 2. Palavras como *debater*, *provocar*, *dialogar*, *motivar* traduzem parte dos objetivos para esta etapa da pesquisa.

5.2.2 Momento de aprendizagem: Passo 2

Neste momento da proposta haviam dois principais objetivos, tal como exposto no Quadro 3, que foram “resgatar as origens e a evolução do estudo da queda livre” e “problematizar o movimento de queda livre”, a partir da leitura do Texto 2 “As raízes históricas da queda livre”. Diferentemente do passo anterior, este tem início já com um texto problematizador (o material entregue aos alunos, nesta etapa, encontra-se no Apêndice A), com perguntas desafiadoras e informações que revelam um caráter mais realístico da natureza do conhecimento científico, principalmente referentes ao estudo do movimento, descrevendo como este mesmo conhecimento vem evoluindo, passando por diferentes estágios. O tema tornou-se motivador e descrever sua evolução histórica foi fundamental na metodologia da presente pesquisa.

5.2.3 Momento de aprendizagem: Passo 3

Como já foi dito, esta etapa da proposta se aproxima de um roteiro, mas difere por não ter a mesma rigidez, já que partimos do diálogo com a própria História da Ciência, por meio da leitura do Texto 3 “O plano inclinado de Galileu: objeto da cinemática galileana”, desmistificando este tema, que é cheio de preconceitos, oriundos de dúvidas a respeito do momento histórico, que aos poucos foi trabalhado com os estudantes. A leitura do texto foi feito com o professor, auxiliando no entendimento dos alunos, problematizando, refletindo

e repensando as descobertas feitas dentro da temática, por pensadores e filósofos naturais, em diferentes épocas. Os participantes responderam ao questionário e gravaram os áudios, como nas etapas anteriores, para uma posterior análise das falas.

No momento experimental, os estudantes foram confrontados com as problemáticas do movimento no plano inclinado, vivenciando assim algumas dificuldades e descobertas feitas por Galileu, no século XVII. O próprio discurso entre os três personagens (*Sagedo, Salviati e Simplicio*) do livro “Duas Novas Ciências” foi o guia de como proceder para verificar os resultados encontrados pelo pensador italiano.

5.2.4 Momento de aprendizagem: Passo 4

Já a penúltima etapa da proposta didática aproxima-se de uma intervenção pedagógica, onde o papel do mediador (o professor-pesquisador) é fundamental e indispensável, pois ele está entre os extremos “conhecimentos alternativos” e “conhecimentos científicos” e fazendo um *link* entre ambos, possibilitando uma aprendizagem mais efetiva, duradoura e correta. Este foi o momento de organizar os conhecimentos dos participantes e resgatar aquilo que foi traçado nos textos anteriores, pontuando o que ficou mais confuso e embaraçoso para o aluno, por meio da discussão.

Para concretização desta etapa fez-se necessário o uso de *slides*, com uma varredura da história da cinemática galileana, trazendo à tona os pontos mais relevantes.

5.2.5 Momento de aprendizagem: Passo 5

Nesta última etapa da proposta os alunos responderam a um questionário (veja o apêndice A), contendo dez questões selecionadas com o propósito de verificar se os conceitos de Cinemática, de fato, foram assimilados pelos estudantes, em detrimento de todos os passos anteriores, ou seja, foi o

último momento de aprendizagem para efetivar a aprendizagem dos participantes. Os resultados encontram-se no gráfico 3.

5.3 Registro da atividade em sala de aula

A coleta dos dados, ou o registro das atividades realizadas nesta pesquisa foi feita com a gravação de áudios, transcrições escritas de alguns questionamentos, discussões e alguns vídeos, além de fotos. Pela natureza do presente trabalho não há possibilidade de aqui expor todos os áudios, mas apenas apresentar aqueles resultados mais significativos.

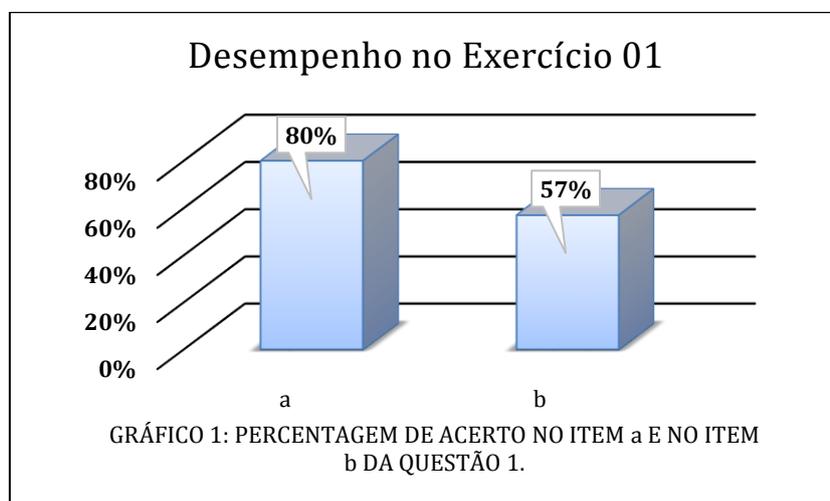
O início da construção da Cinemática, os debates a respeito do movimento no século XVI e no século XVII, o pensamento aristotélico, foram resgatados no andamento de toda a proposta. Uma visão mais geral do movimento dos corpos foi fundamental no entendimento de diferentes propostas que surgiram ao longo do tempo. Diferenciar a Cinemática da Dinâmica (na própria obra de Galileu há uma fala registrando que a preocupação ali não é com a causa, e, sim, com o deslocamento local mesmo), conceitos como inércia, velocidade instantânea, teorema da velocidade média e a diferença entre queda livre e queda no plano inclinado fizeram parte de todas as etapas, inclusive no Momento de Aprendizagem – Passo 4. As respostas dos alunos foram registradas em áudio, como respostas aos questionamentos encontrados e colocados durante a experimentação.

No transcorrer da pesquisa, desde as primeiras discussões, passando pela revisão bibliográfica, pelo planejamento e execução da proposta, fez-se necessário uma teoria da aprendizagem que melhor auxiliasse a prática, a interpretação dos resultados de cada passo, a identificação dos personagens e seus papéis em cada momento. Portanto, no anseio de um referencial teórico compatível com a pesquisa elegeu-se a teoria interacionista de Vygotsky, já que seus elementos teóricos melhor se enquadram na significação da ação aqui presente.

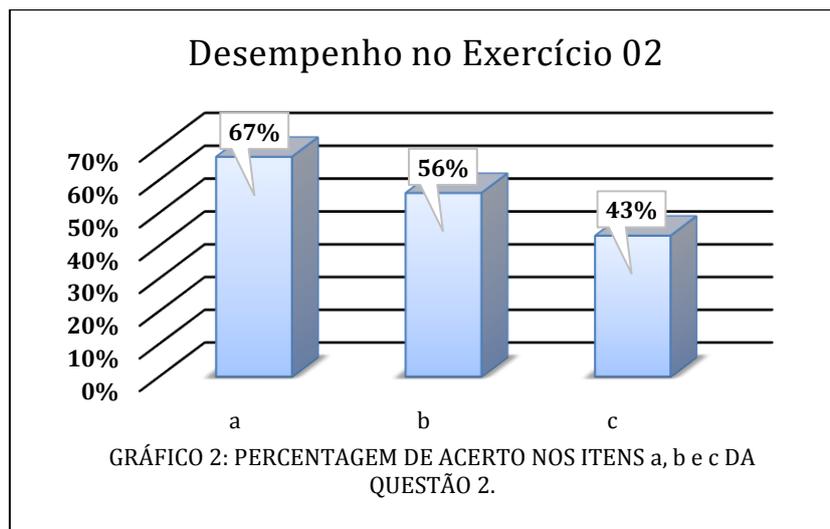
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descrita nesta pesquisa segue recomendações do Programa MNPEF, que sugere um relato das atividades desenvolvidas em sala de aula durante a aplicação do produto educacional (veja o apêndice A), registrando os dados obtidos e interpretando-os segundo uma teoria de aprendizagem e as leituras realizadas de obras de caráter mais filosófico e epistemológico (particularidade deste trabalho). Nosso produto educacional, como já exposto anteriormente nos quadros 1, 2, 3, 4 e 5, consiste de uma **Proposta Didática**, constituída de elementos educativos como *textos históricos*, resgate do *experimento do Plano Inclinado*, *exercícios e questionamentos*.

No *Momento de Aprendizagem – Passo 1* (veja Apêndice A: Proposta Didática – Passo 1) os alunos, divididos em pequenos grupos, iniciaram a atividade com a leitura do material, um resumo dos principais conceitos de Cinemática, numa abordagem não muito diferente da encontrada no livro didático, acompanhado por dois exercícios para verificar o grau de assimilação destes conceitos numa aula desta natureza. O rendimento dos estudantes nesta primeira etapa que sugere a simulação de uma aula mais convencional está alicerçada na correção das duas questões propostas. Os exercícios focaram o caráter mais utilitário do ensino de Física, consistindo na resolução de problemas menos contextualizados com o uso unicamente das equações, utilizando técnicas de resolução assimiladas mais rapidamente por alguns alunos, geralmente aqueles que têm uma maior habilidade com Matemática. Os gráficos a seguir dão uma visão dos acertos nestes exercícios.



A primeira questão exigiu apenas o uso da definição de velocidade média (v_m), no entanto pediu-se para determinar a resposta em duas unidades distintas: quilômetro/hora (km/h) e metro/segundo (m/s). Mesmo sendo algo comum em aulas de Cinemática houve uma redução significativa, ilustrado no gráfico 1, nos acertos. Esta redução foi interpretada em função da dificuldade que os estudantes têm ao abstraírem grandezas por meio de fórmulas matemáticas.



Na segunda questão por conter um grau de dificuldade superior à anterior, o percentual de acertos foi menor. No **item c**, apenas 43% dos estudantes tiveram êxito. Isto significou para efeito de análise que foi devido ao aumento no grau de abstração do exercício, já que poucos estudantes compreenderam a definição de velocidade escalar instantânea (v), na forma descontextualizada, como apresentado no material de apoio. Os livros didáticos, grande parte deles, apresentam estes conceitos descontextualizados também, de forma pragmática, sem objetivar uma aprendizagem efetiva. O propósito do início desta atividade foi exatamente verificar se estudantes que têm acesso a apenas um material desta natureza, seriam capazes de avançar da teoria à prática (no caso à resolução de exercícios). Como constatado nestes resultados, aqueles que participaram desta etapa não obtiveram bons resultados e demonstraram, mesmo numa amostra pequena, que tais

estratégias de ensino apresentam grandes chances de fracasso quando utilizados sem auxílio de outras alternativas.

Diante da complexidade do processo ensino-aprendizagem, deve-se buscar outras formas de transmitir os conceitos de Física ou de quaisquer ciência, que podem ir desde uma prática experimental, até uma abordagem histórico-filosófica. Problemas que não possuem significado para os alunos dificilmente são capazes de motivá-los, analisar a vivência e o conhecimento destes como ponto de partida para questionamentos é necessário para melhorar a eficiência do processo de ensino. Se quisermos promover a alfabetização científica de nossos estudantes devemos ir muito além de meros exercícios de fixação, pois estes se apresentam ineficazes no desenvolvimento de habilidades e competências sugeridas por pesquisadores e educadores.

Dando continuidade à *Proposta Didática – Passo 1* foi apresentado o texto 1 “As Raízes Históricas da Cinemática”, o qual foi lido em grupo. Como se pode vê o texto busca resgatar as origens da Cinemática, por meio de uma narração baseada em fontes disponíveis ao professor (veja a bibliografia ao final da sequência) e também confiáveis. Já de início fez-se perguntas direcionadas ao leitor, que nesta pesquisa trata-se dos alunos da turma Eletroeletrônica 2016 do IFMA- Campus Santa Inês. Estas perguntas tiveram a função de manter o diálogo/interação aluno-texto, aluno-grupo e grupo-professor. Esta interação se fez e se faz necessário numa estratégia que objetiva uma aprendizagem duradoura. Dentro da teoria sócio-interacionista de Vygotsky (2008), anunciada em capítulos passados, a construção do conhecimento e dos conceitos científicos é um processo sócio-cultural e também histórico, ou melhor, um processo de interação à medida que o professor atua como mediador e orientador da atividade.

Durante a leitura do texto, os alunos foram orientados a fazerem gravações com o celular das discussões dentro do grupo e, caso tivessem dúvidas, deviam solicitar auxílio ao professor, que constantemente visitou cada grupo para dá suporte e incentivar a troca de informações entre os estudantes. Posteriormente, essas gravações foram transferidas para o professor-pesquisador para análise. As falas foram transcritas e encontram-se no

Apêndice B. Vale ressaltar também que nem todos os áudios foram transcritos, pois devido a diversos fatores, inclusive ruídos, não se adequaram aos propósitos da pesquisa. Evitou-se identificar os estudantes e o grupo, por isso encontram-se na forma **Fala N**, com N = 1 até N = 78. A seguir analisaremos as mais relevantes, segundo a proposta do trabalho.

Após uma breve apresentação da Cinemática, incluindo nomes de pessoas (cientistas, filósofos etc.), na maioria desconhecidas pelos estudantes até então, foi perguntado a eles se os ditos “gênios” da Ciência nada deviam aos seus predecessores. Em seguida, os alunos são convidados a analisarem mais de perto, ou seja, investigar por meio do texto os diferentes contextos do desenvolvimento desta área da Física. É válido verificarmos algumas falas (respostas).

Fala 1 *“Devem, pois se eles não tivessem uma base vinda de um conhecimento anterior, eles não poderiam (pausa) não teriam (pausa) é (pausa) como fundar suas teorias.”*

Fala 2 *“Claro que sim, pois eles foram muito importantes para a ciência que temos hoje (pausa) pois sem eles não teríamos os avanços (pausa) nas (pausa) nas (pausa) pesquisas”*

Fala 3 *“Provavelmente, pois eles tiveram tutores, professores e amigos”*

Aqui fica evidente novos aspectos do ensino sobre Ciências, pois os estudantes após uma introdução na leitura do texto foram capazes de identificar no conhecimento científico um trabalho humano, construído a custo de colaboração, mesmo consistindo em citações ainda vagas, ou mesmo de disputas, como veremos mais adiante no transcorrer das discussões. O aluno situa o dito “gênio” como um homem de seu tempo com amigos, tutores e professores, mantendo uma relação de dependência com seu mundo, com seu contexto e, enfaticamente, afirmam que seriam incapazes de desenvolver suas teorias sem as devidas contribuições de outras pessoas. Isto foi interpretado positivamente, já que se buscou gerar momentos de reflexão a respeito do trabalho do cientista. A mediação neste caso, e em muitos outros, foi concretizado através do texto. O professor exerce seu papel de mediador

(VYGOTSKY, 2008) constantemente no transcorrer da atividade, seja diretamente ao visitar os grupos seja por intermédio dos textos produzidos e lidos pelos alunos.

Este é um aspecto importante, pois como já discutido antes há uma perspectiva historiográfica que é predominante nos meios acadêmicos, que se torna mais real nos manuais, textos didáticos e nos livros-textos. A figura do gênio é muito explorada com o propósito de mostrar as grandes descobertas como produto independente do meio, da época e do contexto em geral. Os feitos da Ciência nesta perspectiva são pontuais, atemporais e inquestionáveis, apresentadas de tal maneira que se passa a impressão de um conhecimento que evolui linearmente. À medida que prosseguirmos veremos mais questionamentos/respostas que confrontam esta visão dogmática da Ciência.

Após o questionamento acima, a discussão e leitura do texto continuou no sentido de mostrar o panorama das origens do estudo do movimento, que segundo os autores pesquisados remonta às civilizações antigas (mesopotâmicos, egípcios, babilônios, gregos etc.), com a atividade de observar e catalogar as posições dos astros. No anseio de gerar novo momento de discussão/reflexão é perguntado a concepção dos estudantes sobre *movimento*. Estas falas também serviram para diagnosticar o conhecimento anterior dos estudantes quanto ao fenômeno do movimento. Tais conhecimentos são também conhecidos como *conhecimentos espontâneos* (VYGOTSKY, 2008). Às vezes o que o aluno sabe quanto aos fenômenos físicos não está em consonância com o conhecimento científico, em outras vezes se aproxima deste, necessitando de uma intervenção pedagógica. A fala descrita abaixo retrata bem isso.

Fala 5 “O movimento é (pausa) quando uma força age sobre um objeto, em repouso, (um outro colega reformula a pergunta) (pausa) Quando você chuta uma bola de futebol (pausa) você tá aplicando uma força naquele objeto (pausa) e com o atrito também com o ar agindo (pausa) é (pausa) e com também o solo (pausa) aquela bola, em algum certo tempo, ela vai entrar em repouso porque está agindo forças contrárias ao movimento que ela está prosseguindo”

Aqui a fala, que revela o resultado da discussão dentro do grupo, mostra que a concepção de movimento para alguns membros pode estar diretamente associado a um outro conceito, o de *força*. Isto equivale dizer que para haver movimento é preciso estar atuando uma força. Acompanhado desta afirmação vem um exemplo dado pelo grupo “*Quando você chuta uma bola...*” Este exemplo demonstra, parcialmente, como esta ideia está consolidada no cognitivo da pessoa. Não se deve deixar passar despercebidos detalhes como este na fala dos alunos, perdendo a oportunidade de mediar entre os dois conceitos, do aluno e aquele aceito pela comunidade científica (que para o caso aqui citado é o movimento sem intervenção de uma força). Esta conversão é fundamental dentro de um ambiente de aprendizagem. O filósofo-historiador Bachelard (1996, p. 17) afirma que “No fundo, o ato de conhecer dá-se *contra* um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que (...) é obstáculo à espiritualização.” Este conhecimento anterior não deve ser menosprezado e nem ridicularizado, porém valorizado e bem diagnosticado para que o docente saiba de onde partir.

Iremos agora adiantar alguns resultados posteriores, coletados no *Momento de Aprendizagem – Passo 3* após realizar uma investigação do experimento *Plano Inclinado de Galileu*, como consta no quadro 4, com o objetivo de desmistificar a temática do movimento no plano inclinado. Ao perguntar o que aconteceria a uma bola, inicialmente impulsionada, num plano horizontal sem atrito, o que equivale a um movimento sem forças atuando na bola, obteve-se as seguintes respostas:

Fala 68 “*Ela passaria a ter um movimento uniforme, ou seja, o valor da sua velocidade seria constante, até que a bola chegue ao fim do plano.*”

Fala 71 “*Se nada alterar, a bola continuaria sua velocidade uniforme, infinitamente, apenas se o plano fosse inclinado era maior ou menor a velocidade.*”

Fala 72 “*Ela continuaria se movimentando pelo plano infinitamente.*”

As **falas 68, 71 e 72** confirmam a negociação de conceitos por meio da investigação histórica e da própria atividade experimental com resgate do experimento de Galileu Galilei. Esta enculturação pode ser melhor compreendida nas palavras de Villatorre:

Na história das ciências, encontramos debates e impasses que aconteceram na criação, evolução e aceitação de conceitos científicos. Uma vez que essa história é feita considerando o envolvimento do contexto cultural, político, social e econômico de cada momento histórico, esse campo de elementos pode se constituir em elementos significativos para a reestruturação cognitiva do estudante (VILLATORRE, 2008, p. 128).

A reestruturação cognitiva, citada pelo autor, consiste em negociar o significado de concepções espontâneas estabelecidas no dia a dia do sujeito através de experiências sociais, religiosas, culturais e outras para explicar fenômenos vivenciados. No caso específico trata-se de reinterpretar o conceito de *movimento*, agora diante de situações e momentos históricos em que este conceito encontrava-se de forma instável, e esta instabilidade se efetiva na carga cultural do estudante, havendo uma semelhança preliminar nos dois processos. A complexidade de transitar entre as duas culturas, do senso comum ao científico, é revelado também na luta de Galileu em estabelecer bases sólidas para os princípios da Cinemática. Esta identificação com o processo histórico foi devidamente aproveitado dentro da proposta didática para promover a enculturação desejada, e as **falas 68, 71 e 72** registram precisamente que isto foi possível.

Seguindo a proposta, é apresentado um personagem muito peculiar, que retoma o estudo do movimento. Este personagem é Aristóteles. No pensamento aristotélico encontramos também uma sintonia entre a fala dos estudantes e as ideias de movimento neste arcabouço teórico (da **Fala 19** à **Fala 25** tem-se confirmado isto). Mas é preciso analisar sem preconceitos. Para o filósofo grego a máxima era “*tudo que move é movido*”. Para ele só poderia haver movimento se houvesse uma *causa*, seja ela material, formal, eficiente ou final. Dentro do estudo do movimento o pensamento aristotélico se apresenta como a teoria mais completa até o século XVI. Diferentemente de

muitos textos aqui buscou-se mostrar a importância do pensamento de Aristóteles para o desenvolvimento da Ciência Moderna. O pensamento dele tinha uma importante carga cultural, e nele percebe-se a influência de muitos outros pensadores, de outras vivências, de outros meios. Era uma física com base na experiência imediata, no cotidiano, com base em nossos sentidos, mas coesa e coerente em muitos pontos. Investigar o pensamento aristotélico, isto também foi feito nos outros passos da proposta, reconhecer sua importância e sua complexidade e como outros pensadores se articularam para superar “erros” dentro dele, torna-se vital para perceber a dificuldade em abandonar as nossas primeiras ideias a respeito do movimento.

Alguns estudantes ao condicionarem a existência de *movimento* à presença de uma *força*, podem estar pensando numa perspectiva parecida à aristotélica. O texto “As raízes históricas da Cinemática”, juntamente aos outros textos da proposta e a prática em laboratório, foram cruciais na negociação de novos valores na relação “conhecimento espontâneo – estudante – conhecimento científico”. Estes resultados revelam que é na interação social que se caracteriza o ensino. O físico e educador brasileiro Moreira (2011), ao elencar elementos da teoria de Vygotsky, afirma que o ensino se consuma quando aluno e professor compartilham significados. A função do professor-pesquisador é verificar se o que o aluno aprendeu é aceito, compartilhado socialmente. Neste sentido as **Falas 68, 71 e 72** confirmam isto. Outras falas como veremos mais adiante revelaram serem verdadeiras as posições aqui defendidas.

Dando continuidade ao texto 1, iniciou-se a leitura do tópico “LUZ NAS TREVAS.” O título é proposital, tem uma intenção. Gerar um momento de reflexão do período da Idade Média, desconstruindo, caso haja, os preconceitos que condizem com a postura de aceitá-lo como um período em que não houve avanços na Ciência. Isto é comum não só em livros como também na fala de muitas pessoas consideradas alfabetizadas cientificamente. Pontuar e supraestimar ingenuamente ou romanticamente grandes feitos de “gênios da ciência” como Galileu, Newton, Kepler e outros, sem consultar a carga cultural, os predecessores, as ideias precursoras, acaba fortalecendo uma visão positivista da Ciência (BASSALO, 1995), já tão debatido

anteriormente. Então perguntou-se aos alunos “Você já ouviu falar de a navalha de Ockham?” A resposta foi unânime entre eles. Na fala de um grupo é possível identificar a resposta:

Fala 18 “*Não (pausa) Agora (pausa) (Outro aluno) Nem eu também, nunca tinha ouvido. Só ouvi nesse texto aqui que foi disponibilizado*”

Aqui não se fez necessário transcrever outras respostas, principalmente devido à semelhança com a **Fala 18**. Mudou-se o foco da discussão para um personagem da Idade Média chamado William Ockham (1285-1347) com o objetivo de contrapor seu princípio, assim como a física do movimento feita com ele, com os princípios aristotélicos, além de mostrar que muitos estão equivocados ao descrever este período como “período das trevas”. A **Fala 18** pode revelar também algo surpreendente, o de que nem mesmo alguns professores de Ciências conheçam William de Ockham, caso contrário os alunos entrevistados saberiam algo a respeito. Ele foi um dos primeiros pensadores, senão o primeiro, a distinguir a Cinemática da Dinâmica, fazendo jus a seu princípio de que “é vão fazer com mais o que pode ser feito com menos”. Tentar descrever o movimento em função de uma *causa* segundo ele não seria necessário, como era proposto em Aristóteles. Por exemplo, o movimento seria nada mais do que deslocamentos sucessivos de um corpo, ao ir de um ponto a outro. Depois de Ockham vem outros como Nicolau de Cusa, Nicolau de Oresme, Jean Buridan, todos do Colégio de Merton.

A discussão foi intensificada quando perguntamos como foi possível a separação entre Cinemática e Dinâmica a partir deste princípio tão geral e que nem pode ser considerado física. As respostas transcritas para o papel revelam que os estudantes, após discussão no grupo e auxílio do professor, foram capazes de identificar aspectos diferentes na origem de alguns conceitos e teorias, assim como a possibilidade de princípios distintos serem usados para interpretar o mesmo fenômeno físico. Abaixo algumas destas falas.

Fala 9 *Essa separação ocorreu (pausa) logo quando (pausa) o William Ockham teve a (pausa) uma (pausa) visão meio diferente da de Aristóteles, quando ele afirma (pausa) (não deu pra ouvir) com seu famoso princípio que ele diz que sobre “as necessidades não devem ser multiplicadas além da*

necessidade” criando, então, essa lei da economia, (pausa) um tipo (pausa) novo conceito para a Física, onde ele criticou alguns pontos da física de Aristóteles como “tudo que se move é movido por outra coisa”, eliminando as entidades aristotélicas como o “lugar natural”, “corpo pesado” e “corpo leve” e isso contribuiu para a separação entre elas.

Fala 11 *Porque ele disse que as leis da natureza devem ser as mais simples possíveis. E que a cinemática dele não precisava de uma força e que o deslocamento, o deslocamento de um corpo não estava associado a uma força, ou seja, se (pausa) uma vez (pausa) o (pausa) o (pausa) o sistema iniciado ele poderia ser eterno (pausa) (Outro aluno complementa) (pausa) Outra coisa também muito interessante é que, como o B. já havia dito, para a lei da economia tudo que tinha que ser bem simples, e já (pausa) Aristóteles pregava que tudo tinha que ser mais (pausa) como é que eu posso dizer (pausa) tudo tinha que ser mais complexo, tipo o mais leve tinha que subir e o mais pesado tem que descer. Então isso é o que separava é (pausa) essas duas teorias. (Outro Aluno) Seria uma cinemática mais simples. (Um terceiro aluno) Foi a partir deste princípio foi que ele começou a descrever o movimento de uma forma mais simplista (pausa) como só um deslocamento do corpo num intervalo de tempo.*

Nas **Falas 9 e 11** mostra que os estudantes já conseguem diferenciar a teoria de Aristóteles daquela construída a partir do princípio de Ockham, e que ambas tem o mesmo intuito, que é o de interpretar e compreender o *movimento* dos corpos. Aqui não vem ao caso julgar qual teoria é melhor, nem mesmo nas falas dos estudantes reconhecemos esta preocupação, pois a aceitação e adoção de uma teoria perpassa por outros fatores, além deste, como muito bem exposto em Kuhn (2006). O pensamento aristotélico apresenta-se como um modelo (o que Kuhn define de *paradigma*) aceito tacitamente por grande parte dos pensadores, mesmo havendo divergências e confrontos com outros modelos, propostos por outros. Mas os resultados destes questionamentos não foram capazes de provocar um abandono completo da física de Aristóteles, até ser fortemente criticada e refutada por Galileu e os sábios do Colégio de Merton.

Propor uma nova Cinemática foi o propósito dos mertonianos, dentre outros. Mas efetivar sua adoção como *novo paradigma* no estudo do movimento, com novos métodos, técnicas e instrumentos foi obra executada nos séculos XVI e XVII, que contrasta com a metafísica do pensador grego, onde argumentar é mais importante que observar (no sentido mais corrente da palavra). Esta crise no paradigma da física peripatética se intensifica paulatinamente por meio de diversas mudanças, não só no campo conceitual, mas também nas mudanças sociais, culturais e religiosas. Este processo de mudança de paradigma é taxado de revolução (KUHN, 2006). Para concretizá-lo foi necessário diferentes contribuições, que também no transcorrer da proposta didática, proposta nesta pesquisa, ficou evidenciado.

Fala 45 *“Com a descoberta do telescópio de Galileu, a ideia de Aristóteles de um universo Lua-Terra e Lua-corpos celestes, ele invalidou essa afirmação de Aristóteles, já que com a invenção do telescópio ele pode vê que os objetos estão em constante mudança e que o nosso universo é um só, ou seja, nós fazemos parte de um conjunto, de um todo e não dois universos separados. (Outro aluno) E também o telescópio fez com que ele é (pausa) visse (pausa) olhasse (pausa) observasse mais partes do universo, não era um universo tão simples e resumido como o universo que Aristóteles defendia. (Terceiro aluno) É permitiu que ele (pausa) visse coisas que eles pensavam que não existiam.”*

Na **fala 45** vemos declarações assimiladas a partir da leitura do Texto 2 “As Raízes Históricas da Queda Livre”, *Proposta Didática – Passo 2*, que apontam alguns motivos do suposto abandono das ideias aristotélicas. Primeiramente vale frisar o impacto da inovação da técnica e da tecnologia da época. Até então as observações eram feitas a olho nu, e isto tardou muitas descobertas científicas no campo da astronomia e da física como um todo. Galileu não foi o único, naquela época, a observar os céus por meio do telescópio, mas o primeiro a torná-lo um aparelho de investigação científica. Dentro do paradigma de Aristóteles, predominante na Europa, o *cosmo* como declarado acima era composto de uma região sublunar e uma supralunar, diferentes em essência. Os estudantes denunciam a fragilidade deste *cosmo* após as descobertas feitas por Galileu com o telescópio, e que nos céus

também ocorrem mudanças e há imperfeições, como um estudante pontuou na **fala 46** “...*Ele descobriu crateras na Lua*”. Estas anomalias do paradigma somaram-se àquelas indicadas pelos mertonianos e ajudaram a refutar o antigo cosmo. Nos registros da **Fala 40** à **Fala 46** é possível verificar parte da argumentação que os estudantes elaboraram para elencar diferentes motivos que enfraqueceram o pensamento aristotélico.

Quanto à aprendizagem dos estudantes pode-se dizer que foi efetivada à medida que eles construíram seus argumentos, registrados nas falas aqui transcritas. Ao analisarmos as falas percebeu-se um certo grau de “dependência” com aquilo que se encontram nos textos históricos disponibilizados, mas não totalmente, pois ao passo que eles iam complementando suas falas com elementos do texto, mesmo por *repetição* e *imitação*, foram estimulando seus próprios raciocínios, ou seja, estimulando o desenvolvimento cognitivo.

O processo de *imitação* citado não significa o processo mecânico tão proliferado nas propostas mais tradicionais de ensino, que impede que os alunos construam seu próprio conhecimento. Numa síntese das ideias de Vygotsky o pesquisador e físico Alberto Gaspar (2014) afirma que o processo de aprendizagem resulta essencialmente de *cooperação*, *ensino* e *imitação*. Mesmo que algumas falas repitam em parte o texto não indica que os alunos não estão aprendendo, muito pelo contrário estão desenvolvendo seus próprios argumentos e conhecimentos. Logo, um estudante ao dizer “*Ele descobriu crateras*” indica que ele reconhece a importância deste feito, e que está em jogo dois paradigmas concorrendo pela primazia no estudo do *cosmos*, além de diferenciar os seus elementos e particularidades.

O *movimento de queda dos corpos*, assim como o lançamento vertical, foi também crucial na geração de questionamentos dentro dos grupos e juntamente com o professor. Desde a **Fala 19** até a **Fala 28**, além da **Fala 39**, **Fala 47**, **Fala 48** está registrado o pensamento dos alunos a respeito de tais problemáticas. Tratam-se de problemáticas antigas, amplamente resolvidas por muitos pensadores, muito antes mesmo de Galileu. O fato de só com este pensador tais temáticas ganharem tanto destaque na História da Ciência é um

caso a ser investigado, sem dúvidas há muitos fatores além daqueles internos à teoria deste físico. Um questionamento que sintetiza bem a *queda dos corpos* é “A velocidade de queda é proporcional ao peso do corpo?” Segundo Cohen (1988) antes de Galileu já haviam algumas respostas alternativas para este problema e todas refutavam aquela estabelecida por Aristóteles, que afirmava que corpos mais pesados caem mais rapidamente que os mais leves. Para tanto vejamos algumas falas dos estudantes da turma Eletroeletrônica confrontando algumas explicações.

Fala 27 *Sim. Mas isso só acontece em locais que há interferência do ar, caso a mesma situação aconteça na Lua, por exemplo, o objeto grande irá cair (pausa) o objeto pesado e o objeto leve irão cair ao mesmo tempo ao solo.*

Fala 47 *Bem (pausa) a pequena diferença⁶ é que se tiver dois corpos um mais pesado que o outro, quando os dois atingirem o solo, a diferença entre os tempos em que eles atingirão o solo é quase desprezível, é muito pequena. (Outro aluno) (pausa) Também até porque antigamente o povo⁷ pensava assim: há um corpo de massa de 1 kg e outro de massa de 10 kg é (pausa) o (pausa) é (pausa) eles pensavam que o corpo de 10 kg levaria mais tempo (pausa) o corpo de um 1 kg levaria 1s e o corpo de 10 kg levaria 10 s, mas não é bem assim. Se soltasse eles dois a diferença de tempo seria praticamente desprezível, questão de milésimos (pausa).*

As falas citadas acima referem-se a duas situações. A primeira responde se os aristotélicos estão corretos ao defenderem que um corpo mais pesado atinge o solo mais rapidamente, o que equivale ao mesmo problema levantado antes, enquanto a segunda descreve uma experiência feita por Philoponus, no século VI, onde ele confirmou, por meio da observação direta, que a diferença nos tempos de queda existe, mas é extremamente pequeno, praticamente desprezível. O movimento de queda é amplamente trabalhado nos textos históricos da proposta didática, objetivando não só identificar os parâmetros

⁶ Aqui faz referência à pequena diferença entre os tempos de queda de dois corpos com pesos distintos encontrada por Philoponus, no século VI.

⁷ Aqui o estudante está fazendo citando os aristotélicos que acreditavam que a velocidade de queda era proporcional ao peso do corpo.

que interferem na sua descrição como também na construção teórica deste tópico, assim como sua matematização.

No entanto isto acontece lentamente, pois há diversos obstáculos a essa evolução. O texto auxiliou na tarefa de identificar estes obstáculos e os estudantes ao passo que foram argumentando, perguntando e avançando na leitura pontuaram alguns, como percebe-se na **Fala 25**, na qual um grupo cita a medida do tempo como uma dificuldade neste estudo, além da precariedade dos instrumentos de pesquisa citado na **Fala 52**.

Ao analisar todos os argumentos da **Fala 26** à **Fala 36** percebe-se que os estudantes foram se conscientizando que o principal obstáculo era a aceitação geral das ideias aristotélicas, mesmo com as críticas construídas no decorrer da história. Este obstáculo muito se enquadra na análise epistemológica de Bachelard (1996, p. 98) ao afirmar que “Há nisso uma valorização indiscutida, sempre invocada na vida cotidiana e que, afinal, é causa de perturbação para a experiência e para o pensamento científico”. Determinar as propriedades deste movimento foi tarefa executada por Galileu e isto foi assimilado no decorrer do estudo com os textos e, principalmente, com a prática experimental de reconstrução do *Plano Inclinado*, como pode-se ver a seguir. Nesta última foi possível perceber/vivenciar parcialmente as dificuldades de Galileu em seu estudo.

No *Momento de Aprendizagem – Passo 3* manteve-se o foco no trabalho de Galileu com o *Plano Inclinado*, apesar que as falas e os argumentos estiveram numa posição de interdependência com os passos anteriores. Por este motivo, a discussão aqui apresentada também assim está montada, na tentativa de manter uma conexão com o todo. Tudo que foi discutido e feito em passos anteriores a este, proporcionou uma prática mais investigativa no laboratório, que possibilitasse que os estudantes construíssem ou reconstruíssem seus conhecimentos. Os *Passo 1* e *2* caracterizam uma etapa de familiarização daquilo que foi realizado no laboratório, etapa esta que se identifica em muitos aspectos com o que Rosa e Rosa (2012) definiram como etapa *pré-experimental*, constituída de pré-teoria, explicitação dos objetivos, formulação de hipóteses e planejamento das ações, contudo, na presente

pesquisa isto foi feito através do resgate histórico da temática. O guia desta prática tornou-se aquilo que o aluno já conhecia juntamente ao próprio diálogo entre os personagens da obra de Galileu (veja **Descrição do Plano Inclinado** em Proposta Didática – Passo 3).

Os alunos coletaram os dados, registrando os intervalos de tempo com auxílio de um cronômetro. O plano inclinado foi disponibilizado pelo professor-pesquisador e toda a prática foi executada no laboratório. Como sugerido, em parte, na fala de Salviati (personagem que representa Galileu em *Duas Novas Ciências*), pois o plano aqui usado possuía apenas o comprimento de dois metros, o que não impediu de verificar alguns resultados relevantes, os estudantes realizaram as medidas dos tempos de queda de uma esfera, maciça e homogênea (bola de bilhar). O que faltava no comprimento foi compensado com a precisão na medida do tempo, pois Galileu na época não tinha relógio com tal precisão (como flagrado na fala de Salviati).

A primeira sugestão indicada no relato de Salviati “... *Fizemos rolar a bola, como eu estava dizendo, ao longo do canal, anotando, da maneira a ser descrita daqui a pouco, o tempo necessário para realizar a descida. Repetimos esta experiência mais de uma vez a fim de medir o tempo com tal exatidão que o desvio entre duas observações nunca excedesse um décimo de uma pulsação.*” foi seguida pelos alunos, objetivando verificar que o desvio entre as medidas sucessivas era pequeno. No diálogo com os alunos, o professor-pesquisador questionou a suposta precisão alcançada por Galileu “... *um décimo de pulsação*”, para deixar claro que este relato corre o risco de não corresponder com os fatos, como apontado por alguns historiadores, como Alexandre Koyré (1991). As falas abaixo mostram alguns questionamentos.

Fala 59 Não. A experiência foi realizada várias vezes, pois os resultados sempre variavam.

Fala 60 Não, pois se baseava em pulsações, em queda d'água que também variam de acordo com a vazão da água. (Outro aluno) É também outra coisa é (pausa) como já haviam falado antes (pausa) é (pausa) ele disse que (pausa) as medições não ultrapassavam um décimo de pulsação. Então isso não pode ser considerado muito confiável. Talvez até tenha mas é muito difícil.

Então, esse método que ele usou é bem improvável e ele foi muito criticado na sociedade da época e até hoje também existem algumas críticas.

Fala 61 Não, porque ele usava pulsações e nossas pulsações variam muito, então isso modificaria o tempo.

Abaixo a **Tabela 1** e a **Tabela 2** trazem estes resultados para duas inclinações distintas, pois os estudantes sugeriram realizar em duas alturas, já que queriam ter certeza que de fato não haveria desvio apreciável entre medidas sucessivas.

Tabela 1: Tempos de queda medidos para altura de 51 cm, em todo o plano

	Altura (cm) = 51					Valor Médio	Desvio Padrão
Tempos (s)	1,45	1,52	1,48	1,49	1,46	T = 1,49 s	0,035
	1,46	1,56	1,49	1,59	1,46		

Tabela 2: Tempos de queda medidos para altura de 48 cm, em todo o plano

	Altura (cm) = 48					Valor Médio	Desvio Padrão
Tempos (s)	1,78	1,71	1,80	1,85	1,78	T = 1,78 s	0,034
	1,81	1,71	1,75	1,81	1,81		

O desvio padrão⁸ apresentado foi pequeno (mesmo sendo maior para a tabela 1). Isto está de acordo com o afirmado na obra *Duas Novas Ciências*, tal fato comprova ser razoável o experimento no estudo do movimento no plano, já que as condições desfavoráveis não interferem tanto na medida dos tempos. Seguindo a fala de Salviati (os estudantes acompanharam no texto) fez-se rolar a bola na quarta parte do plano, na metade e na terça parte. A seguir tem-se os dados obtidos, após algumas repetições para cada comprimento, com as respectivas médias e o quadrado desse valor (na fala de Salviati fica esclarecido o porque deste valor).

⁸ Os desvios, calculados pelos alunos na prática, foram determinados pela média dos valores absolutos da diferença entre o valor do tempo medido e o valor médio dos tempos.

Tabela 3: Medida dos tempos de queda para diferentes comprimentos e altura de 51 cm.

Tempo de Queda (s)	Comprimento d	Comprimento 3d/4	Comprimento d/2	Comprimento d/4
T ₁	1,45	1,30	1,06	0,70
T ₂	1,52	1,26	0,94	0,70
T ₃	1,48	1,32	1,07	0,70
T ₄	1,49	1,33	0,99	0,80
T ₅	1,46	1,22	1,04	0,80
T ₆	1,46	1,27	1,02	0,81
Valor Médio	1,48	1,28	1,02	0,75
(Valor Médio) ²	2,19	1,64	1,04	0,56

Tabela 4: Medida dos tempos de queda para diferentes comprimentos e altura de 48 cm.

Tempo de Queda (s)	Comprimento d	Comprimento 3d/4	Comprimento d/2	Comprimento d/4
T ₁	1,71	1,59	1,20	0,92
T ₂	1,71	1,51	1,23	0,83
T ₃	1,75	1,58	1,20	0,94
T ₄	1,81	1,59	1,25	0,84
T ₅	1,78	1,52	1,32	0,80
T ₆	1,75	1,59	1,14	0,89
T ₇	1,81	1,46	-	0,83
T ₈	-	1,50	-	0,94
Valor Médio	1,76	1,54	1,22	0,87
(Valor Médio) ²	3,10	2,37	1,49	0,76

Um trecho da fala de Salviati torna-se ponto chave na constatação de que poderíamos encontrar algum padrão na descida da bola pelo plano inclinado. Trata-se do instante em que ele diz “*fizemos então rolar a bola somente num quarto do comprimento do canal; e tendo medido o tempo de sua descida, achamos que ele era precisamente a metade do primeiro*”. Com exceção do termo *precisamente* pode-se perceber que os dados das tabelas 3 e 4 revelam uma certa verdade nesta afirmação. Os tempos necessários para a bola percorrer *um quarto* do plano foi, em todas as medidas, praticamente a metade de cada tempo necessário para a mesma bola percorrer todo o plano inclinado, tanto para a altura de 51 cm como para aquela de 48 cm. Os dados coletados pelos estudantes, seguindo os passos indicados no diálogo entre Salviati e Simplicio (aquele que defendia as ideias aristotélicas), de fato condizem com o desejado. Estes resultados reforçam também as **Falas 59, 60 e 61** ao elencarem dificuldades e limitações na prática de Galileu.

Apesar de todas as dificuldades apontadas pelo professor-pesquisador e pelos estudantes ao refletirem a prática feita, tal como o comprimento do plano ser muito menor que aquele proposto por Galileu, não obter um plano tão liso quanto possível, não repetirmos o experimento as centenas de vezes sugerida na fala de Salviati, além da pouca afinidade dos estudantes em realizar experimentos, dentre outras, foi possível se aproximar de alguns resultados do diálogo no livro *Dois Novas Ciências*. Salviati afirma que “*em tais experiências, repetidas uma boa centena de vezes sempre achamos que os espaços percorridos estavam uns para os outros como os quadrados dos tempos decorridos, e isto era verdade para todas as inclinações do plano, isto é, do canal, ao longo do qual fazíamos rolar a bola*”. Uma verificação rápida torna-se útil para validar os dados coletados em laboratório.

De forma mais geral foi escrito a equação abaixo 6.1 para que os estudantes pudessem julgar se os dados obtidos se ajustavam à relação enunciada por Salviati.

$$\frac{\Delta S_1}{\Delta S_2} = \frac{(\Delta T_1)^2}{(\Delta T_2)^2} \quad 6.1$$

onde os índices indicam medidas diferentes.

- **Na tabela 3**

Para $\Delta S_1 = d$ e $\Delta S_2 = 3d/4$; $\Delta T_1 = 1,48$ s e $\Delta T_2 = 1,28$ s, obteve-se

$$\frac{d}{3d/4} = \frac{(1,48)^2}{(1,28)^2} \quad 6.2$$

$$1,33 = \frac{2,19}{1,64} \quad 6.3$$

$$1,33 = 1,34 \quad 6.4$$

Para $\Delta S_1 = d$ e $\Delta S_2 = d/2$; $\Delta T_1 = 1,48$ s e $\Delta T_2 = 1,02$ s, obteve-se

$$\frac{d}{d/2} = \frac{(1,48)^2}{(1,02)^2} \quad 6.5$$

$$2,00 = \frac{2,19}{1,04} \quad 6.6$$

$$2,00 = 2,11 \quad 6.7$$

Para $\Delta S_1 = d$ e $\Delta S_2 = d/4$; $\Delta T_1 = 1,48$ s e $\Delta T_2 = 0,75$ s, obteve-se

$$\frac{d}{d/4} = \frac{(1,48)^2}{(0,75)^2} \quad 6.8$$

$$4,00 = \frac{2,19}{0,56} \quad 6.9$$

$$4,00 = 3,91 \quad 6.10$$

Para $\Delta S_1 = 3d/4$ e $\Delta S_2 = d/2$; $\Delta T_1 = 1,28$ s e $\Delta T_2 = 1,02$ s, obteve-se

$$\frac{3d/4}{d/2} = \frac{(1,28)^2}{(1,02)^2} \quad 6.11$$

$$1,50 = \frac{1,64}{1,04} \quad 6.12$$

$$1,50 = 1,57 \quad 6.13$$

Para $\Delta S_1 = 3d/4$ e $\Delta S_2 = d/4$; $\Delta T_1 = 1,28$ s e $\Delta T_2 = 0,75$ s, obteve-se

$$\frac{3d/4}{d/4} = \frac{(1,28)^2}{(0,75)^2} \quad 6.14$$

$$3,00 = \frac{1,64}{0,56} \quad 6.15$$

$$3,00 = 2,93 \quad 6.16$$

Os resultados apresentados acima nas equações 2.6, 2.9, 2.12, 2.15 e 2.18 demonstram serem válidas as observações feitas por Galileu, por meio de Salviati, a respeito do movimento de queda no plano inclinado, de fato a razão entre os espaços estava na mesma proporção da razão entre os tempos. Lembremos que ele já havia provado que tal proporção era válida para o movimento uniformemente acelerado. Tratava-se de uma forma indireta de provar que a velocidade era diretamente proporcional ao tempo transcorrido, ou

seja aumentava na proporção mais simples possível, se adequando ao famoso *Princípio de Ockham*. Para perceber a consciência dos alunos ao realizar a prática foi perguntado sobre as motivações de Galileu. Algumas falas foram transcritas abaixo.

Fala 53 *É que com o plano inclinado facilita a descida da bola no experimento.*

Fala 54 *Bem, ele queria saber se a velocidade e o tempo eram diretamente proporcionais, ou seja, ele estava fazendo estes⁹ para a (pausa) chegar a esse resultado. (Outro aluno) Ele também queria eliminar a ideia de que a massa dos corpos interferiam na velocidade deles, no plano inclinado.*

Fala 55 *Era porque ele queria saber se a velocidade e o tempo eram diretamente ou inversamente proporcionais.*

Isto revela a importância de antes de realizar uma prática experimental, seja um experimento histórico ou não, é fundamental valorizar a etapa de familiarização com todos os aspectos anteriores, a etapa pré-experimental, para que os estudantes avancem conscientemente para uma reflexão, ou seja, para a etapa pós-experimental. Desta forma, poderão por meio da interação e da mediação superar os obstáculos impostos, inconscientemente, pelos conhecimentos espontâneos (VYGOTSKY, 2008).

Contudo, a fala de Salviati enfatiza que a relação entre os espaços e os tempos (veja a equação 6.1) seria verificada mesmo que alterasse a inclinação do plano. Isto de fato foi feito pelos estudantes e os dados encontram-se na tabela 4. Aproveitamos para repetir as contas para que este suposto resultado fosse verificado.

- **Na tabela 4**

Para $\Delta S_1 = d$ e $\Delta S_2 = 3d/4$; $\Delta T_1 = 1,76$ s e $\Delta T_2 = 1,54$ s, obteve-se

⁹ Nesta parte da fala o estudante está evocando a prática realizada no laboratório (o experimento com o plano inclinado). Evidentemente o ele assimilou que o físico italiano estava, racionalmente, tentando provar um resultado por meio de outro, já que ele não tinha meios para determinar a velocidade diretamente.

$$\frac{d}{3d/4} = \frac{(1,76)^2}{(1,54)^2} \quad 6.17$$

$$1,33 = \frac{3,10}{2,37} \quad 6.18$$

$$1,33 = 1,31 \quad 6.19$$

Para $\Delta S_1 = d$ e $\Delta S_2 = d/2$; $\Delta T_1 = 1,76$ s e $\Delta T_2 = 1,22$ s, obtenve-se

$$\frac{d}{d/2} = \frac{(1,76)^2}{(1,22)^2} \quad 6.20$$

$$2,00 = \frac{3,10}{1,49} \quad 6.21$$

$$2,00 = 2,08 \quad 6.22$$

Para $\Delta S_1 = d$ e $\Delta S_2 = d/4$; $\Delta T_1 = 1,76$ s e $\Delta T_2 = 0,87$ s, obtenve-se

$$\frac{d}{d/4} = \frac{(1,76)^2}{(0,87)^2} \quad 6.23$$

$$4,00 = \frac{3,10}{0,76} \quad 6.24$$

$$4,00 = 4,08 \quad 6.25$$

Para $\Delta S_1 = 3d/4$ e $\Delta S_2 = d/2$; $\Delta T_1 = 1,54$ s e $\Delta T_2 = 1,22$ s, obtenve-se

$$\frac{3d/4}{d/2} = \frac{(1,54)^2}{(1,22)^2} \quad 6.26$$

$$1,50 = \frac{2,37}{1,49} \quad 6.27$$

$$1,50 = 1,59 \quad 6.28$$

Para $\Delta S_1 = 3d/4$ e $\Delta S_2 = d/4$; $\Delta T_1 = 1,54$ s e $\Delta T_2 = 0,87$ s, obtenve-se

$$\frac{3d/4}{d/4} = \frac{(1,54)^2}{(0,87)^2} \quad 6.29$$

$$3,00 = \frac{2,37}{0,76} \quad 6.30$$

$$3,00 = 3,12 \quad 6.31$$

Os resultados expressos nas equações 6.19, 6.22, 6.25, 6.28 e 6.31 revelam que mesmo alterando a inclinação do plano o resultado é mantido – os espaços são proporcionais aos quadrados dos tempos. Um fato importante e que merece destaque é a precisão em que Galileu apresenta seus resultados. Isto não só foi já questionado por tantos historiadores, até mesmo por contemporâneos do físico, como neste trabalho deixamos transparecer a falta de consonância entre a “fala” e os fatos. No entanto, é preciso esclarecer que Galileu chegou a estes resultados por meio da abstração e da teoria *a priori*. Alexandre Koyré (1991) defende que Galileu era um platônico, capaz de elaborar suas ideias por meio da imaginação e que seus experimentos, como já apontado nos textos históricos apresentados aos estudantes, tinha uma importância secundária em sua obra. Enquanto outros historiadores apontam a possibilidade destas experiências terem sido levadas a cabo. Aqui não buscamos aprofundar esta discussão, porém seguir os dados da obra de Galileu para motivar os estudantes no estudo da Cinemática e reconhecê-la como uma prática humana.

A abstração é de fato de suma importância ao trabalho do cientista e buscou-se nesta pesquisa deixar isto claro para os envolvidos, para que percebessem que por meio da idealização Galileu foi capaz de chegar em seus resultados e confiar em sua veracidade para o movimento. Neste percurso ocorreram equívocos como em qualquer outra atividade humana, mas alguns foram até superados. O físico italiano não obteve um sistema sem atrito, sem resistência com o ar, por exemplo, mas acreditava que em casos ideais os corpos em queda livre ou em queda no plano sem resistência obedeceriam as relações matemática do movimento uniformemente acelerado. Este processo de idealização na ciência é de fundamental importância para compreender os processos de transição do conhecimento do senso comum ao conhecimento científico histórico. Isto fica muito bem esclarecido, no caso de Galileu, no artigo de Matthews:

Não é ver as coisas sob um outro prisma, mas é construir objetos idealizados e representá-los e manipulá-los matematicamente que constitui a diferença da nova ciência de um assunto muito antigo, nas palavras usadas por Galileu na introdução de seu *Duas Novas Ciências*. Galileu não via esferas num plano inclinado como círculos incolores em tangentes, ele as via como qualquer outra pessoa; porém ele as descreveu de outra forma e usou suas descrições matemáticas num novo aparato teórico (MATTHEWS, 1995, p. 181).

A partir da idealização de um caso particular real é que foi possível a Galileu vê em seus resultados do plano inclinado a indicação de que era possível expressar matematicamente o movimento num caso ideal. O mesmo acontece para a queda livre, já que a tecnologia precária em sua época não permitia obter um vácuo apreciável, no qual suas equações poderiam ser testadas através da experiência direta. Contudo, isto não diminuía sua fé em seu modelo de queda livre ou de movimento naturalmente acelerado.

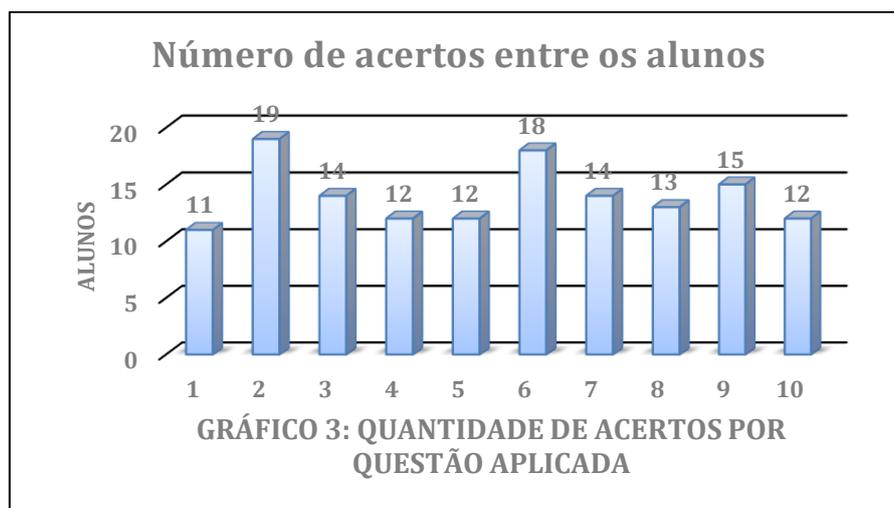
Os textos históricos e todos os passos anteriores a este enquadram-se numa orientação, numa intervenção mediadora, já que o professor-pesquisador constantemente procurou levantar as discussões e os questionamentos. A prática experimental realizada pelos alunos também não se adequam, como visto, ao tipo “receita de cozinha”, amplamente criticada pelas pesquisas em ensino de Ciências, descritos por Pinho-Alves (2000) e outros. Muito menos foram valorizados os chamados “efeitos pirotécnicos”, apontados por Bachelard (1996) como falsos centros de interesse, que podem provocar uma falsa sensação de aprendizagem e gerar novos obstáculos à aprendizagem.

Vale ressaltar também que há indícios de que os questionamentos que impulsionaram as discussões encontram-se na Zona de Desenvolvimento Imediato (ZDI) dos estudantes, mesmo sem uma pesquisa mais investigativa a respeito, já que estes a partir da colaboração com os colegas e com o professor, às vezes por intermédio do texto, foram capazes de elaborar respostas a estes questionamentos. Sem esta colaboração ou mediação (VYGOTSKY, 2008) é pouco provável que estes entendessem todo o significado que tem a equação 6.1, por exemplo, além de vislumbrar toda carga cultural que o *Plano Inclinado* carrega. O próprio depoimento de um estudante retrata bem a importância da prática neste sentido.

Fala 76 *É na prática que podemos observar como o movimento acontece. (Outro aluno) Nas aulas práticas a gente consegue é (pausa) vê como que o movimento acontece e como que as causas interferem nele. (Terceiro Aluno) Pois durante os testes pude observar como a velocidade varia.*

Este observar que traduz a ideia de compreender vem a confirmar a eficácia de uma proposta que resgate a história, o significado, a relevância de uma descoberta.

No *Momento de Aprendizagem – Passo 5* foi aplicado um questionário. Este momento veio após uma aula expositiva na qual fez-se uma apresentação de tudo aquilo que a Proposta Didática continha, mas de forma breve, elucidando os principais avanços na Cinemática, com contribuições oriundas de várias fontes, incluindo a evolução de vários conceitos. O desempenho dos alunos está abaixo no gráfico.



As questões aplicadas, contidas no apêndice A, exigiram o conhecimento dos conceitos de Cinemática trabalhados durante a aplicação da Proposta Didática, como *movimento, repouso e referencial, teorema da velocidade média, movimento uniforme, movimento uniformemente acelerado e queda livre*. Um total de vinte alunos foram avaliados. Algumas questões estavam acompanhadas de um Texto Auxiliar Contextualizado (TAC) para, além de contextualizar, fazer o estudante lembrar daquilo que foi lido na Proposta Didática e que está diretamente relacionado à solução da pergunta. As questões podem ser classificadas em *questões qualitativas* (Questões 1, 2,

3, 6, 7, 9 e 10) e *questões quantitativas* (Questões 4, 5 e 8), aquelas que exigem cálculos por meio de fórmulas matemáticas.

Os resultados do gráfico indicam que os acertos foram maiores nas questões ditas qualitativas. Este fator até certo ponto se enquadra com os resultados esperados, pois a Proposta Didática buscou, principalmente, a assimilação dos conceitos e a reflexão sobre Ciência, a partir de uma investigação histórica. Contudo, mesmo sendo um resultado inferior, não ficou muito abaixo da média, já que nestas questões um número sempre maior que dez alunos tiveram êxito. Os melhores resultados (questões 2, 6 e 9) foram obtidos em questões qualitativas, sendo que duas delas (questões 6 e 9) tratavam de *queda livre*, temática amplamente discutida na proposta, sendo constantemente reforçada nos textos históricos lidos em sala de aula. Tanto as falas analisadas, como os resultados da prática experimental com o plano inclinado e os índices de acertos neste questionário, indicam positivamente os avanços alcançados e a aprendizagem efetivada durante a execução da Proposta Didática.

7 CONCLUSÕES

A presente pesquisa partiu da expectativa em reaproximar a História da Ciência e o Ensino de Ciência, incluindo neste ensino elementos pertinentes à sua própria natureza, capazes de gerar uma mudança inicial na visão que os estudantes têm deste campo do conhecimento humano, e possibilitando momentos de aprendizagem mais duradoura, mais significativa e real.

Diante desta missão, fomos levados a uma investigação dos campos História da Ciência, Ensino de Ciência e práticas experimentais, objetivando interligá-los dentro de uma proposta didática que fornecesse subsídios à aprendizagem efetiva dos conceitos da cinemática galileana, como percebemos nos resultados discutidos anteriormente.

A busca pela caracterização e execução desta pesquisa exigiu dos pesquisadores um entendimento da institucionalização da História da Ciência como campo de conhecimento com métodos e objetos próprios. Tal institucionalização como consta no desenvolvimento deste texto aconteceu no início do século XX, com os resultados dos esforços de personalidades, como George Sarton (1884-1956). No entanto, a perspectiva historiográfica dominante por muito tempo consistiu numa visão tradicional, internalista e positivista da própria Ciência. Nesta perspectiva o conhecimento científico é tido como acabado, pronto, pontual, verdadeiro e melhor que qualquer outra forma de conhecimento humano, seja o religioso, o místico, o filosófico etc.

Numa contrapartida, a Proposta Didática aqui desenvolvida e aplicada permitiu, em análise preliminar, como consta nos resultados coletados e analisados, pontuar elementos que mais se adequam aos anseios de nossa sociedade atual, vislumbrando uma Ciência em construção, produzida pela cultura, pelo contexto social, político e também econômico. Assim pôde-se aprofundar numa temática de fundamental importância no desenvolvimento da Ciência moderna, a Cinemática Galileana, que manteve como visto nos textos trabalhados um diálogo constante com o seu passado e o seu presente, ou seja, vista como um conhecimento dentro de um contexto, temporal. Além disto, foi possível desmistificar as origens desta cinemática, dando um tratamento mais realístico de seu principal personagem, o italiano Galileu

Galilei, investigando as várias anedotas contadas a respeito deste matemático e filósofo da natureza.

Aqui neste trabalho fez-se uso de uma proposta didática constituída por passos ligados de forma sequencial, objetivando um alvo comum, que no caso específico foi efetivar o entendimento dos conceitos de cinemática e, de forma qualitativa, da própria natureza da Ciência, partindo dos vários conceitos espontâneos que formam o conhecimento do estudante, construído na sua vivência com outras pessoas, fora e dentro do ambiente escolar. Porém, a execução da pesquisa esteve sujeita a identificação e superação de algumas problemáticas, dentre as quais as mais urgentes são um número não muito grande de material didático adequado, com textos de história para serem usados nas aulas (aqui estamos nos referindo a textos prontos para serem usados em sala de aula) e a formação do professor para pesquisar e ensinar corretamente a História da Ciência. Ambas foram superadas, parcialmente, com um estudo em fontes confiáveis a respeito da temática, além da produção dos textos históricos, num total de três, acompanhados de questionamentos para gerar momentos de discussão nas aulas, o que de fato ocorreu.

Os primeiros exercícios aplicados da *Proposta Didática – Passo 1* confirmam a ineficácia de um ensino de Ciência, mais especificamente de Física, pautado unicamente nos conteúdos e exercícios dos livros didáticos, resultados este que já tem sido descobertos em outras investigações (DELIZOICOV *et al.* 2011). Os livros didáticos, juntamente com aqueles ditos paradidáticos quanto ao critério “inserir a História da Ciência” distanciam-se daquilo que os pesquisadores almejam, deturpando muitas das vezes a natureza da própria Ciência, gerando a imagem de um conhecimento progressivo, linear, verdadeiro, marginalizando outras formas de compreender os fatos. Neste caso a História da Ciência pode complementar esta prática, assim como o laboratório didático é outra alternativa, e os próprios dados aqui coletados ratificam esta possibilidade.

O texto 1 “As Raízes Históricas da Cinemática” permitiu uma mudança na forma de tratar os conceitos da Cinemática, além de fazer com que o professor-pesquisador mediasse o processo de geração de novos significados

no cognitivo dos estudantes. Estes identificaram, após leitura e discussão, que o conhecimento científico é um trabalho humano, construído a custo de colaboração, situando os pensadores, filósofos e cientistas como homens de seu tempo, incapazes de realizarem suas descobertas sem partir de um conhecimento anterior, amplamente aceito pela comunidade. Foi identificado em algumas falas indícios de semelhança com concepções aristotélicas do movimento, necessitando de uma intervenção pedagógica para que os alunos reinterpretassem suas formas de conceituar o movimento. No sentido de uma epistemologia bachelardiana entendemos estas concepções como obstáculo à espiritualização, ou em termos mais correntes, obstáculos à alfabetização científica dos pesquisados.

A análise dos questionamentos e discussões oriundas do Texto 2 “As Raízes Históricas da Queda Livre”, já na *Proposta Didática – Passo 2*, traz para o bojo das reflexões a ideia de quebra de paradigma instaurado nos meios acadêmicos por Kuhn. Os estudantes responderam aos questionamentos e pontuaram os diversos motivos que enfraqueceram o paradigma de *cosmo* dos gregos, onde os corpos celestes são incorruptíveis.

Entra em cena também nas falas dos estudantes os elementos técnica e instrumentos em colaboração com o trabalho do cientista, neste caso trata-se do telescópio inventado por Galileu para investigação científica. Há então uma quebra, um abandono dos velhos costumes, em substituição pelo novo que se torna, aos poucos, parte do paradigma concorrente e, em seguida, vigente. Até certo ponto Galileu é peça chave nesta mudança, no entanto há em seu trabalho traços de seus predecessores, como indicado em algumas falas das discussões que demonstraram que suas ideias tem origens em escola filosóficas como a dos mertonianos e dos pitagóricos, muitas das vezes renegadas pelos historiadores.

O prosseguimento da proposta com o estudo do Plano Inclinado de Galileu em laboratório, com ponto de partida no diálogo travado entre os personagens da obra *Duas Novas Ciências*, efetivou uma discussão rica dentro de um espaço culturalmente diversificado, fazendo uma conexão não só com os textos anteriores, porém com as próprias raízes da análise do movimento

naturalmente acelerado. No registro das falas torna-se evidente a mediação entre a cultura científica e a cultura do senso comum, executada pelo professor-pesquisador ao participar do processo diretamente ou mesmo indiretamente, quando foi mantida essa intervenção através dos textos. Neste espaço foi apresentado o *pensamento aristotélico* como eixo norteador da cinemática galileana e, conseqüentemente, sua importância no desenvolvimento da Ciência Moderna, pois sem ela tal cinemática não poderia ter sido construída, pois Galileu manteve constantemente um diálogo com as ideias aristotélicas.

Compreender a complexidade da transição entre as duas teorias, seja através dos textos ou mesmo na prática experimental, foi fundamental para compreender as dificuldades que os estudantes têm quando diante da tarefa de assimilar os conceitos pertinentes ao estudo do movimento igualmente acelerado. Nesta etapa a aprendizagem dos conceitos, além da compreensão de outros aspectos da própria natureza da Ciência, foi consumada mediante o compartilhamento de significados, socialmente e culturalmente aceitos, entre estudantes e professor.

Na prática experimental, os estudantes identificaram as propriedades do movimento no plano inclinado, assim como os parâmetros e as dificuldades encontradas por Galileu que negativamente interferiram neste estudo. O processo de idealização, parte integrante do pensamento galilaico, foi aos poucos assimilado, assim como alguns equívocos e limitações impostas pelo contexto e também pelo próprio paradigma aceito pelo físico, mesmo inconscientemente, impedindo-o de avançar em alguns momentos. A prática em laboratório possibilitou uma ampla discussão destes aspectos. Para além disto, os conceitos de cinemática como referencial, repouso e movimento, velocidade, aceleração, deslocamento, dentre outros, foram apreendidos como indicaram os resultados do Gráfico 3, confirmando a eficiência da proposta quanto à aprendizagem destes.

Todos os questionamentos elaborados e aplicados durante a *Proposta Didática* cumpriram a função de possibilitar a alfabetização ou enculturação científica dos participantes, e isto ficou evidente nas próprias falas transcritas e

analisadas pelo professor, demonstrando argumentos e raciocínios próprios de uma cultura, iniciando com uma *repetição* ou *imitação* para um conhecimento já internalizado e negociado dentro das interações, com colegas dos grupos ou então com o parceiro mais capaz. O presente estudo abre caminho na defesa do entendimento da Ciência como construção histórica, humana e viva, com conhecimentos abertos e sujeitos a reformulações.

BIBLIOGRAFIA

AFONSO-GOLDFARB, A. M., BELTRAN, M. H. R., (Orgs.). **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas.** São Paulo: Livraria da Física, 2004.

AFONSO-GOLDFARB, A. M. BELTRAN, M. H. R., (Orgs.). **O saber fazer e seus muitos saberes: experimentos, experiências e experimentações.** São Paulo: Livraria da Física/FAPESP, 2006.

ALVES, P. **Atividades Experimentais: do método à prática construtivista.** 2000. 302 p. Tese (Doutorado em Educação: Ensino de Ciências Naturais) – Centro de Ciências da Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

ALVES, P.. *Caderno Catarinense no Ensino de Física.* **Regras da transposição didática aplicada ao laboratório didático.** v. 17, n. 2, 2000.

ALVES, S. JESUS, J. C. O. ROCHA, G. R. **Ensino de Física: reflexões, abordagens e práticas.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

ANDERY, M., A., P., A. **Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica.** São Paulo: EDUC Editora da PUC, 2001.

ARAÚJO, M. S. T. ABIB, M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 25, n. 2, p. 176-194, jun, 2003.

ARRUDA, S. M. & LABURU, C .E. **Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências.** *Ciência e Educação* 3. UNOESC. São Paulo. P. 14-24. 1996.

ASTOLFI, J., P., DEVELAY, M. **A Didática das Ciências.** São Paulo: Papirus Editora, 2012.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico.** Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BASSALO, J. M. F. **A importância do estudo da História da Ciência.** Revista Brasileira da História da Ciência. n. 8, p. 57 – 66, 1992.

BELTRAN, M. H. R., SAITO, F., TRINDADE, L. S. P. (Orgs.). **História da Ciência: tópicos atuais.** São Paulo: CAPES/Livraria da Física, 2010.

BELTRAN, M. H. R., SAITO, F., TRINDADE, L. S. P. (Orgs.). **História da Ciência: tópicos atuais.** v. 2. São Paulo: CAPES/Livraria da Física, 2010.

BELTRAN, M. H. R., SAITO, F., TRINDADE, L. S. P. (Orgs.). **História da Ciência para a Formação de Professores.** São Paulo: CAPES/Livraria da Física, 2014.

BEN-DOV, Y. **Convite à Física.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1996.

- BLANCHÉ, R. **El método experimental y la filosofía de la física**. Fondo de Cultura Económica. México. 1975.
- BLOSSER, P. E., *Caderno Catarinense no Ensino de Física*. Beatriz. **Livro didático**: Análise e Seleção. v. 5, n. 2, 1988.
- BORGES, R. M. R. **Em debate**: cientificidade e educação em ciências. Porto Alegre: SECECIRS, 1996.
- BORGES, A. T. **O papel do laboratório no ensino de ciências**. Atas do 11o. ENPEC. Lindóia São Paulo. p. 1-11. Nov. 1997.
- BORGES, T. A. **Novos rumos para o laboratório de ciências**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 18, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.
- BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.
- CARVALHO, G. D. C. **Aula de Física**: do planejamento à avaliação. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.
- CARVALHO, Ana Maria Pessoa. RICARDO, Elio Carlos. SASSERON, Lúcia Helena. ABIB, Maria dos Santos. PIETRECOLA, Maurício. **Ensino de Física**. – 1ed. – São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- CASTRO, R. S. CARVALHO, A. M. P. **História da Ciência**: investigando como usá-la num curso de segundo grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v. 9, n. 2, p. 225-237, 1992.
- CHALMERS, A. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Ed. Brasiliense, 1993.
- COHEN, I.B. **O nascimento de uma nova Física**. Lisboa: Gradiva, 1988.
- CREASE, R. P. **Os dez mais belos experimentos científicos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.
- DEBUS, A. G. **Ciência e História**: o nascimento de uma nova área. In: ALFONSO-GOLDFARB. BELTRAN (Orgs.). *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: Ed. Livraria da Física/EDUC/FAPESP, 2004. p.13 – 40.
- DELIZOICOV, Demétrio. ANGOTTI, José André. PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. – 4ed. – São Paulo: Cortez, 2011.
- FREIRE-MAIA, N. **A ciência por dentro**. Petrópolis: Ed. Vozes, 1992.
- FREITAS-REIS, I. (org.). **Estratégias para Inserção da História da Ciência no Ensino**: um compromisso com os conhecimentos básicos de Química. São Paulo: Livraria da Física, 2015.
- GALILEI, G. **Discursos sobre Duas Novas Ciências**. São Paulo: Nova Stella, 1986.

GASPAR, Alberto. **Atividades experimentais no ensino de Física: Uma nova visão baseada na teoria de Vigotski.** – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

GIL-PEREZ, D. CARVALHO, A. M. P. **Formação de Professores de Ciências.** São Paulo: Cortez, 2006.

HOTTECH, D. **How and what can we learn from replicating historical experiment? A case study.** Science & Education, 9, p. 343 – 362, 2000.

KOYRÉ, A. **Estudos Galilaicos.** Lisboa: Dom Quixote, 1986.

KOYRÉ, A. **Estudos de história do pensamento científico.** Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991.

KUHN, T. S. **A estrutura das Revoluções Científicas.** São Paulo: Perspectiva, 2006.

KUHN, T. S. **Tensão Essencial.** São Paulo: Editora UNESP, 2011.

KRASILCHIK, M. Cadernos de Pesquisa. **Prioridades no ensino de ciências.** v. 38, p. 45-49, ago. 1981.

KRASILCHIK, M. Educação para Ciência. **Comentários sobre a Avaliação do Projeto para Melhoria do Ensino de Ciências e Matemática.** v. 1, p. 9-11, jan. 1985.

KRASILCHIK, M. **O professor e currículo das ciências.** São Paulo: EPU – Editora da Universidade de São Paulo, 1987.

LANGEVIN, P. **O valor educativo da história da ciência.** In: GAMA, R., Ciência e Técnica. Antologia de Textos Históricos. Rio de Janeiro: Ciência e Técnica, 1992. cap. 2.

MARTINS, R. A. **Introdução: A História das Ciências e seus Usos na Educação.** In: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de História e Filosofia da Ciência: Subsídios para Aplicação no Ensino.** São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 17-28.

MATHEWS, M. R. **História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez.1995.

MOREIRA, M. A. **Ensino de Física no Brasil: retrospectivas e perspectivas.** Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 22, n. 1, mar, 2000.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** São Paulo: EPU, 2011.

NEVES, M. C. **De experimentos, paradigmas e diversidades no ensino de física: construindo alternativas.** Maringá: Editora Massoni, 2005.

OSADA, J. **Evolução das Ideias da Física.** São Paulo: Edgard Blucher, 1972.

PAULA, R. C. O. **O Uso de Experimentos Históricos no Ensino de Física: Integrando as Dimensões Histórica e Empírica da Ciência na Sala de Aula.**

140 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências) – Instituto de Física/Instituto de Química, Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2006.

PEDUZZI, L. O. Q., MARTINS, A. F. P., FERREIRA, J. M. H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, 2012.

PIETROCOLA, M. **Construção e Realidade**: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 4, n. 3, dez. 1999.

PIRES, Antonio T. S. **Evolução das Ideias da Física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

PLEITZ, V. **Quando uma experiência é crucial?** *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 21, n. 2, p. 255-263, jun, 1999.

POPER, K. **A Lógica da Pesquisa Científica**. São Paulo: Cultrix, 2013.

QUINTAL, J.R. MORAES, A. G. **A Importância da História da Ciência no Aprendizado de Física**. *Revista História da Ciência e Ensino: propostas, tendências e construção de interface*. BELTRAN, M. H. R. SAITO, F. SANTOS, R. N. WUO, W. São Paulo: Livraria da Física, 2009, p. 75-79.

RIVAL, M. **Os grandes experimentos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1997.

ROBERTS, R. M. **Descobertas acidentais em Ciências**. São Paulo: Papirus, 1995.

ROCHA, J. F. (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

ROSA, C. T. W., ROSA, A. B. **Aulas experimentais na perspectiva construtivista**: proposta de organização do roteiro para aula de Física. *Física na Escola*, v. 13, n. 1, 2012.

SASSERON, L. H. NASCIMENTO, V. B. CARVALHO, A. M. P. **O uso de textos históricos visando a alfabetização científica**. *Revista História da Ciência e Ensino: propostas, tendências e construção de interface*. BELTRAN, M. H. R. SAITO, F. SANTOS, R. N. WUO, W. (Orgs.). São Paulo: Livraria da Física, 2009, p. 97-106.

SAITO, F. **História da Ciência e Ensino**: em busca de diálogo entre historiadores e educadores. *Revista História da Ciência e Ensino: propostas, tendências e construção de interface*. BELTRAN, M. H. R. SAITO, F. SANTOS, R. N. WUO, W. (Orgs.). São Paulo: Livraria da Física, 2010, p. 1-6.

SANTOS, M. L. O. **Experimento de Galileu do Plano Inclinado em Sala de Aula**. 161 p. Dissertação (Mestrado no Ensino de Ciências Exatas), Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP, 2013.

SCHENBERG, M. **Pensando a Física**. São Paulo: Landy Editora, 2001.

SCHMIDT, I. P. & KAWAMURA, M.R. **O papel do laboratório no ensino de Física**. Atas do X SNEF. Londrina/Pr, 1993, p. 366-368.

SILVA, A., P., B., GUERRA, A. (Orgs.) **História da Ciência e Ensino**: Fontes primárias e propostas para a sala de aula. São Paulo: Livraria da Física, 2015.

STRAULINO, S. **Reconstruction of Galileo Galilei's experiment: the inclined plane**. Phys. Educ, v.43, 2008, p.316-321.

TAKIMOTO, E. **História da Física na Sala de Aula**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein**: a face oculta da invenção científica. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.

VANNUCCHI, A. I. **História e Filosofia da Ciência**: da teoria para a sala de aula. 131 p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Instituto de Física/Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

VEIT, E. A. TEODORO, V. D. **Modelagem no Ensino**: aprendizagem em Física e os novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002.

VILLATORE, A. M. HIGA, V. TYCHANOWIEZ, S. D. **Didática e Avaliação em Física**. Curitiba: Ibpex, 2008.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do Pensamento e da Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2011.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

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

ZANETIC, João. **Física e cultura**. Disponível em: [HTTP://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pidS000967252005000300014&script=sci_arttext](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pidS000967252005000300014&script=sci_arttext). Acessado em: 20 julho 2016.

APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto educacional consiste em uma *Proposta Didática* destinada ao resgate das raízes históricas da Cinemática Galileana, enfocando os diversos aspectos culturais, sociais, políticos, econômicos e filosóficos na construção do estudo do movimento dos graves. Tal proposta foi dividida em cinco passos, para que professores possam ter melhores resultados na sua aplicação em sala de aula. Somente o Passo 4 destina-se unicamente aos professores, já que consiste de uma intervenção pedagógica, ou seja, orientações diretamente aos professores. Os outros passos, por sua vez, são textos que devem ser distribuídos aos alunos e trabalhados em pequenos grupos, sob a intervenção direta e indireta do mediador (professor). Em cada passo está registrado o tempo que foi necessário, em nossa pesquisa, para trabalhar cada passo.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 1

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta atividade consiste em uma releitura da obra “Duas Novas Ciências” de Galileu Galilei

Momento de Aprendizagem – Passo 1 – 03 aulas

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: O ESTUDO DA CINEMÁTICA

- **Introdução**

A Cinemática é a parte da Física que estuda o movimento, sem preocupar-se com as **causas** e **efeitos** deste mesmo movimento. Para esse estudo recorreremos constantemente ao conceito primitivo de **tempo**. Dentro do corpo teórico da Cinemática o tempo aparece como uma grandeza física independente, enquanto as outras, como velocidade, são dependentes deste.

- **Conceitos básicos de Cinemática**

Alguns conceitos, primitivos e derivados, são necessários na descrição do movimento. Abaixo uma lista com os principais.

1. **Móveis e Ponto material:** *os corpos em movimento serão chamados de móveis e também de pontos materiais, pois para nosso interesse, suas dimensões serão desprezíveis.*
2. **Posição:** *local ocupado por um móvel num determinado **instante** (tempo extremamente curto).*
3. **Trajectoria, percurso ou caminho:** *o conjunto das posições ocupadas por um móvel.*
4. **Origem:** *é o marco zero das posições, diferente de **posição inicial** do móvel, que indica de onde este iniciou o movimento ou onde ele estava no tempo inicial (tempo zero).*
5. **Estudo de movimento:** *o estado de movimento de um corpo é caracterizado por grandezas como **posição, velocidade e aceleração**. Movimento e repouso são estados de movimento de um corpo.*
6. **Movimento, repouso e referencial:** *estes três conceitos estão interligados.*

- ✓ **Movimento** – um corpo está em movimento quando sua posição muda em relação a um corpo de referência (referencial ou sistema de referência).
- ✓ **Repouso** – um corpo está em repouso quando sua posição não muda em relação ao referencial adotado.
- ✓ **Referencial** – um corpo que é adotado como referência para determinar se um outro corpo está em movimento ou não; para descrever o movimento de um corpo é necessário um outro como referência. Não faz sentido tentar afirmar se um corpo está em repouso ou em movimento sem adotar um referencial.

- **Velocidade Escalar Média e Velocidade Escalar Instantânea**

Definição
matemática de velocidade média

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Onde ΔS representa o espaço percorrido e Δt o tempo transcorrido.

Definição
matemática de velocidade instantânea

$$V_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

A diferença está no tempo, pois na segunda expressão este tende a zero.

- **Aceleração Escalar Média e Aceleração Escalar Instantânea**

Definição matemática de aceleração média

$$a_m = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Onde ΔV representa a variação de velocidade (aumento ou diminuição) e Δt o tempo transcorrido.

Definição matemática de aceleração instantânea

$$a_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

A aceleração mede a rapidez com que a velocidade de um corpo está variando.

- **Movimento Progressivo, Movimento Retrógrado, Movimento Acelerado e Movimento Retardado**

Movimento progressivo → é aquele em que o móvel movimenta-se no sentido positivo da trajetória (ele está “indo”).

Movimento retrógrado → é aquele cujo móvel está realizando seu movimento na direção negativa da trajetória (ele está “vindo”).

Movimento acelerado → pode ser entendido por aquele no qual o módulo da velocidade está aumentando, ou seja, a aceleração age no mesmo sentido da velocidade.

Movimento retardado → podemos entender que o módulo da velocidade está diminuindo com o tempo, ou seja, a aceleração age no sentido oposto à velocidade.

- **Movimento Uniforme (MU)**

Definição: O movimento uniforme acontece quando o corpo mantém a velocidade com módulo constante. Quando a trajetória é reta o movimento é chamado de movimento retilíneo uniforme (MRU).

Função Horária dos Espaços: $S = S_0 + v.t$

- **Movimento Uniformemente Variado (MUV)**

Definição: Aquele no qual a aceleração é mantida constante.

Função Horária da Velocidade: $V = V_0 + a.t$

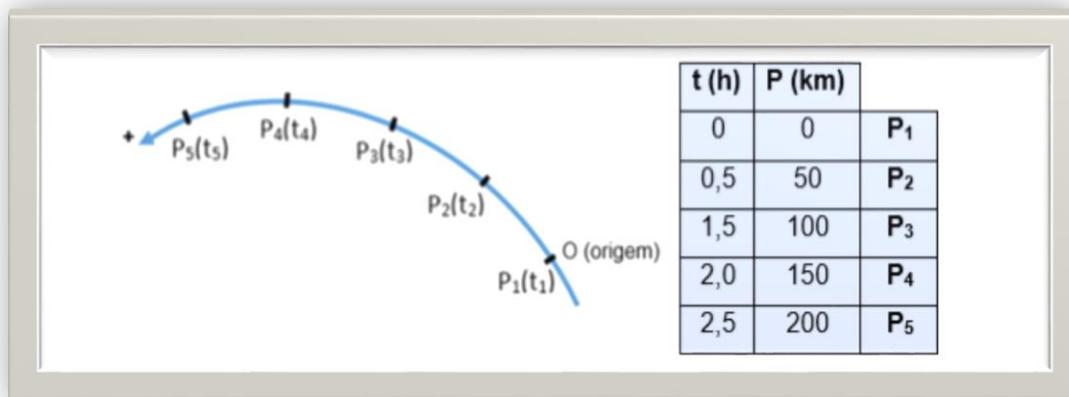
Função Horária dos Espaços: $S = S_0 + v_0.t + a.t^2/2$

EXERCÍCIO DE APLICAÇÃO DE CINEMÁTICA

Questão 1 – A distância entre duas cidades é de 120 km. Um carro realiza este percurso num tempo de uma hora e meia. Determine a velocidade média do automóvel em (a) km/h (quilômetros por hora) e em (b) m/s (metros por segundo).

Resolução:

Questão 2 - Considere o movimento de um corpo (automóvel) seguindo a trajetória representada na figura a seguir. Tanto as posições (**P**), em quilômetro, como os respectivos instantes (**t**), em horas, foram registrados pelo condutor. A tabela contém todos os dados para descrição do movimento.



De posse dos valores da tabela determine para este móvel:

- a velocidade escalar média do automóvel entre as posições P₁ e P₅;
- em qual trecho o automóvel manteve a maior velocidade escalar média?
- o que você tem a dizer da velocidade escalar instantânea do móvel? É possível afirmar em qual posição o corpo atingiu a maior velocidade?

Resolução:

Texto 1: AS RAÍZES HISTÓRICAS DA CINEMÁTICA

CINE... O QUÊ?

Uma simples pergunta, talvez até ingênua, mas que deixa transparecer, diante de nossos olhos, a necessidade de buscar por raízes, origens e conhecer melhor nosso conhecimento (*científico*). Talvez o que você irá encontrar aqui não tenha em seu livro, porém é muito importante e deveria lá está.

A palavra cinemática vem do grego *kinemas* e significa movimento. Simples, não é? O movimento dos corpos, em geral, sempre atraiu a curiosidade de muitos sábios, desde a antiguidade. Podemos citar alguns: *Aristóteles, Ptolomeu, Nicolau de Cusa, Jean Buridan, Philoponus, Oresme, Isaac Newton, Galileu, Kepler*. Até aí tudo bem? Nomes estranhos, talvez, porém são personagens que deram suas contribuições na construção de uma teoria do movimento.

Bem vindo à *Cinemática*.

ANTES DE CRISTO

Quando se fala em ciência ou em conhecimento científico vem na mente “grandes gênios”, como Galileu, Newton, Darwin, Einstein, dentre outros. Mas será que estes “gênios” nada devem aos seus antecessores, estudiosos anônimos, esquecidos na história? Ou será que nossos manuais, injustamente ou propositalmente, fecham os “olhos” para os verdadeiros fatos por traz das descobertas?

Que tal analisarmos mais de perto? Então vamos lá!

A nossa jornada tem início bem antes das primeiras grandes revoluções científicas (séculos XVI e XVII), antes mesmo de Cristo. Ou você acha que o movimento já não era estudado? Talvez não da mesma forma como nós o fazemos, ou com as mesmas ferramentas, ou com o mesmo propósito. Nas palavras de Mario Schemberg, podemos melhor entender este ponto:

As observações dos astros foram o ponto de partida das medidas do tempo, e podem até ter antecedido a descoberta da Agrimensura. As observações dos astros podem também ser consideradas como o ponto de

partida da cinemática, que combina as ideias geométricas com o conceito de tempo (SCHEMBERG, 2001, p. 17)

Da citação acima, pode-se concluir que o estudo da cinemática tem suas origens na observação e catálogo das posições dos astros, atividade que remonta às antigas civilizações como a Grécia, a Mesopotâmia, o Egito, a Babilônia e outras. Estamos falando de séculos antes de Cristo. Os conceitos mais elementares da Cinemática (tempo, comprimento, movimento, espaço) já estavam em evolução, apesar que não tinham o mesmo significado que hoje eles têm.

Às vezes as discussões eram puramente filosóficas, em outros momentos tomavam um caráter mais quantitativo e mecânico. Por exemplo, na Grécia havia o conceito de espaço ocupado por um objeto, mas não ainda de espaço em si, ou seja, havia uma relação íntima entre corpo e espaço ocupado por este, diferentemente da neutralidade na geometria euclidiana.

Os babilônios, séculos antes da era cristã, já haviam desenvolvidos tabelas astronômicas capaz de prevê eclipses, movimentos do Sol e da Lua e suas fases. Claro que não tinham “leis” cinemáticas para isso, mas tinham ciência da regularidade no transcorrer do tempo, assim como das posições ocupadas pelos astros nos céus.

Os modelos cosmológicos dos pensadores gregos antigos trazem em seu cerne a semente da cinemática, assim como da dinâmica (sobre a qual falaremos mais adiante). Anaximandro, contemporâneo de Tales de Mileto, teorizou o modelo de um novo espaço, que não era mais o espaço mítico, mas um espaço geométrico. No firmamento havia várias envoltórias para acomodar os corpos celestes. O Sol, assim como as estrelas, eram orifícios e numa envoltória adiante havia um fogo. As fases da Lua e os eclipses eram entendidos como “obstruções” desses furos. Esta é a primeira tentativa de um modelo mecânico para o Universo e já traz alguns elementos, semelhantes aos que encontramos na nossa Cinemática:

- A ideia de um movimento original que gera os outros movimentos
- A ideia de mudanças constantes

- A necessidade de uma lei imutável no tempo

No livro “Evolução das Ideias da Física”, de Antonio S. T. Pires, encontramos relatos de outros modelos como o de Filolao, discípulo de Pitágoras, onde pela primeira vez é imposto à Terra um movimento ao redor de uma outra entidade (um fogo central). Mas estes modelos faziam apenas alusão a alguns conceitos, sem um estudo mais sistemático.

E ARISTÓTELES?

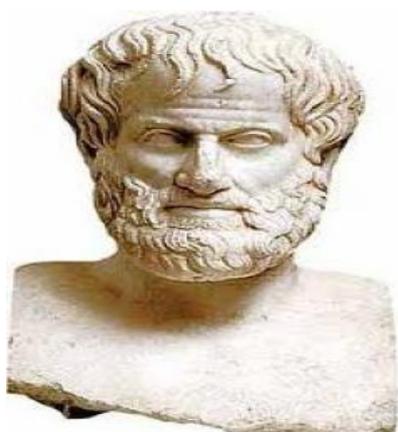


Figura 4: Busto do filósofo Aristóteles

Fonte:
<http://pensamentosnomadas.com/obra-completa-de-aristoteles-em->

Aristóteles nasceu e viveu no século IV a.C., na região da Macedônia. A filosofia grega teve seu auge com este pensador. Discípulo de Platão, em Atenas, mas não seguidor de suas ideias por completo. Sua obra abrange Lógica, Física, Matemática, Biologia, Ética, Política e Retórica.

Aristóteles foi talvez o primeiro a apresentar um sistema compreensível de mundo. Foi fundamental no estudo do movimento, apesar que este mesmo movimento tenha um significado que foge ao nosso conceito atual.

Você já se perguntou o que é o *movimento*? Será esta sua definição compatível com àquilo que os antigos sábios pensavam? Que tipos de movimento existem? São os mesmos encontrados na filosofia de Aristóteles? Vejamos!

Na visão de Aristóteles, entender a Natureza significa entender o Movimento. Mas que movimento? Para ele o movimento é a constante mudança imposta ao ser, seja em relação à substância, à quantidade, à qualidade ou ao lugar. Uma semente movimenta-se na direção da árvore em que irá se transformar. Neste sentido, movimento é transformação, destruição, crescimento, evolução. Para ele havia dois tipos de movimento: um *natural* e outro *violento*. O primeiro produzido por causas internas e o segundo por causas externas.

Na mecânica aristotélica, o movimento natural dos corpos terrestres é vertical e reto, para o centro do Universo (Terra), enquanto dos corpos celestes era circular, conclusões provenientes da observação imediata (os astros se movimentam de leste para oeste, num arco de circunferência).

Usando essas ideias ele descreve, em sua mecânica, o movimento de projéteis e astros. Mas o que dizer da existência de diversos movimentos circulares nas proximidades da Terra? Para ele isso só era possível enquanto o corpo estivesse sob ação de um agente externo. Por exemplo, uma pedra presa na ponta de uma corda pode realizar um movimento circular, mas só enquanto há um agente forçando esse movimento. Ao cessar essa ação, a pedra deverá cair em linha reta e para baixo.

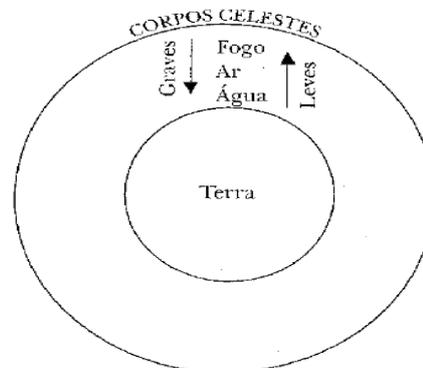


Figura 5: A teoria dos quatro elementos e dos lugares naturais.

Fonte: Retirado do livro “Origens e evolução das ideias da Física” - EDUFBA

Como você explicaria o movimento de lançamento de uma bala de canhão, este fazendo um certo ângulo com a horizontal usando as ideias aristotélicas?

Em Aristóteles, o movimento ganha um papel primordial. No entanto, este está sempre associado a uma **causa** ou a um **propósito** (sua máxima era “tudo que move é movido”). A pedra cai porque seu lugar natural é embaixo e a fumaça sobe porque seu lugar natural é acima da Terra, segundo sua **teoria dos quatro elementos**. O desvencilhamento entre cinemática e dinâmica só acontece na Idade Média.

LUZ NAS TREVAS?

A Idade Média foi considerada por muito tempo como *Idade das Trevas*. O conhecimento, hoje tido como científico, deu uma estagnada, enquanto o religioso avançava ganhando força e terreno. As teorias científicas tiveram pouca importância e a *escolástica* (escola que tentava harmonizar a razão com a fé) ganha **destaque**. No entanto, os historiadores atuais identificaram avanços em diversas áreas, além de afirmarem que o conhecimento estava a disposição da doutrina cristã. Aqui iremos pontuar avanços na Filosofia Natural,

mais especificamente no estudo que chamamos de cinemática. Este período, como se vê adiante, foi peça chave na construção de um estudo do movimento, desvinculado das causas e efeitos, que mais tarde aparece no livro “Duas Novas Ciências” do italiano Galileu Galilei.

Você já ouviu falar de “a navalha de Ockham”?

William de Ockham (1285 - 1347) definiu o movimento diferente de Aristóteles. Seu princípio “as necessidades não devem ser multiplicadas além da necessidade” ou “é vão fazer com mais, o que pode ser feito com menos” também conhecido como *lei da economia*, permitiu a construção de uma nova física para o movimento. Ele está entre aqueles que primeiro fizeram a distinção entre cinemática e dinâmica. Afirmava que as leis da natureza devem ser as mais simples possíveis. Criticou alguns pontos do pensamento aristotélico:

- Tudo que se move é movido por uma outra coisa
- Movimento, que Ockham definiu como um objeto tendo existências sucessivas em lugares diferentes sem repouso intermediário e não era uma realidade separada do corpo que se movia
- Eliminou entidades aristotélicas como lugar natural, corpo pesado, corpo leve, e não se preocupou com as causas do movimento

Ele passa a descrever o movimento como mero deslocamento do corpo num intervalo de tempo e seria fútil postular outras coisas a respeito. Na sua descrição do movimento não há necessidade de uma “força”, ou qualquer outra causa, para manter o movimento, uma vez iniciado, ou seja, ele poderia ser eterno.

Já no final da Idade Média alguns pensadores já estavam abandonando o pensamento aristotélico e aderindo a novas formas de pensar o movimento. Por exemplo, Nicolau de Cusa (1401-1464), cardeal alemão, preferiu o neoplatonismo ao aristotelismo. Para ele, a Terra estava em movimento e não podia ocupar o centro do Universo. Já naquela época, ele afirmava que *lugar* e *movimento* não eram absolutos, pois dependiam de um observador, ou seja, eram relativos (o movimento absoluto representa o deslocamento de um corpo no espaço, enquanto o relativo representa um deslocamento de um corpo em

relação a outro – é infrutífero perguntar se a Terra ou o Sol está em movimento absoluto). O **Colégio de Merton**, em Oxford, foi de grande importância neste processo e na elaboração de uma teoria do movimento em moldes parecidos ao que conhecemos hoje (cinemática). Abaixo algumas contribuições dos *mertonianos* (Elika Takimoto, História da Física em Sala de Aula, 2009)

- Uma clara distinção entre descrição do movimento e causa do movimento.
- A definição de velocidade como deslocamento no tempo e a conceitualização de velocidade instantânea
- A definição de aceleração como variação da velocidade no tempo
- O estudo dos movimentos uniformes e acelerados
- Estudo gráfico das grandezas cinemáticas em função do tempo: eles traçaram gráficos $v \times t$
- A formulação e demonstração do Teorema da Velocidade Média, usada por Galileu mais tarde

O Teorema da Velocidade Média foi primeiramente demonstrado pelos mertonianos. Nicolau de Oresme (1325-1382) demonstrou a validade do teorema geometricamente. Abaixo uma figura contendo trecho do livro “O Nascimento de Uma Nova Física” de I. Bernard Cohen, ilustrando melhor o contexto da demonstração do citado teorema.

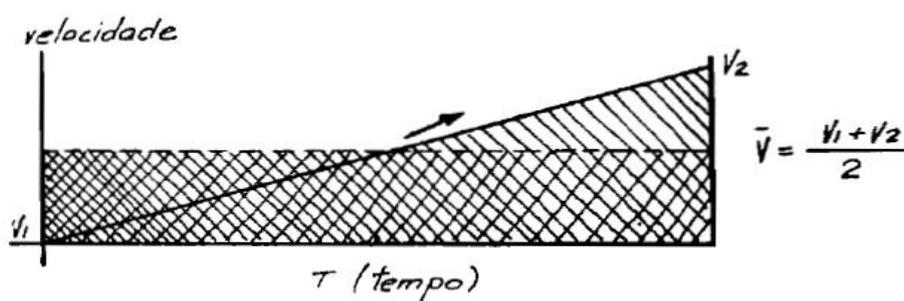


Figura 6: Teorema da Velocidade Média¹⁰.

Fonte: Retirado do livro “O Nascimento de uma nova Física” (I. Bernard Cohen)

¹⁰ Nicole Oresme, de Paris, usou a Geometria para provar que um corpo uniformemente acelerado, a partir de uma velocidade V_1 até à velocidade final V_2 , percorreria a distância D no intervalo de tempo T em que o faria se se tivesse movido com velocidade constante V , média aritmética de V_1 e V_2 . Admitiu que a área sob o gráfico da velocidade em função do tempo seria a distância D . Para o movimento uniformemente acelerado, a apresentação seria uma linha inclinada, e para o movimento uniforme seria uma reta paralela ao eixo dos tempos. A área sob a primeira seria a de um triângulo, ou $\frac{1}{2} T \times V_2$. A área sob a segunda seria a área do retângulo, ou $T \times \frac{1}{2} V_2$, a altura do triângulo sendo duas vezes a do retângulo. As áreas, e portanto as distâncias percorridas, seriam iguais.

Questionamentos ...

1. Como foi possível a partir da “lei da economia” desvincular (separar) a Cinemática da Dinâmica?
2. O Princípio de Relatividade, citado na página 13, teve fundamental importância na Teoria Heliocêntrica de Copérnico, a qual estabelece a possibilidade do Sol está em repouso no centro do Universo. Identifique esta importância.
3. Que novidades estão explícitas no Teorema da Velocidade Média demonstrado pelos mertonianos?

E finalmente...

“Não existe nada anterior ao MOVIMENTO e, com referência a ele, não poucos e pequenos volumes foram escritos pelos filósofos” (Galileu Galilei, 1638)

“Entender o movimento significa entender a natureza” (Aristóteles)

Nas palavras de Galileu e Aristóteles percebemos a importância do estudo do movimento. Nos outros passos iremos dá continuidade a esse estudo!!!



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 2

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta atividade consiste em uma releitura da obra “Duas Novas Ciências” de Galileu Galilei

Momento de Aprendizagem – Passo 2 – 03 aulas

Texto 2: AS RAÍZES HISTÓRICAS DA QUEDA LIVRE

AS IDEIAS DE ARISTÓTELES SOBRE O MOVIMENTO DOS GRAVES

Nos tempos de Aristóteles haviam duas ideias fundamentais a respeito do *ser* e o *não ser*: a da escola heraclitiana¹¹ e a da escola eleática¹². Tais propostas tentavam resolver o conflito na estabilidade do conceito do ser. Que conflito? A problemática era “*como algo que é pode deixar de ser*”? Ou seja, como explicar o movimento? Para os heraclitianos a natureza é perpetuamente mutável, enquanto para os eleáticos o ser permanece sempre da mesma forma, imutável, e o movimento era pura ilusão gerada por nossos sentidos.

O Filósofo grego Aristóteles solucionou o problema do movimento acrescentando novos elementos no seio de sua Teoria: ele afirmou que os corpos terrestres são formados por terra, água, fogo e ar, enquanto que os corpos celestes são constituídos por um quinto elemento, o *éter* ou *quintessência*, o qual é incorruptível e eterno, sem sombras de mudança. Para ele movimento representa a passagem do *ser em potência* ao *ser em ato* ou *ser realizado*. As causas do movimento seria de natureza *material*, *formal*, *eficiente* ou *final*. A corruptibilidade é um “ingrediente” presente em todas as coisas terrestres, porque é uma característica da matéria que as compõem (terra, água, fogo e ar).

Você está confuso? Vejamos alguns exemplos:

¹¹ Heraclitiano vem de Heráclito, filósofo natural de Éfeso. Defendia a ideia de que o Ser está em constante e eterno movimento, o que significa que todas as coisas não param de mudar, evoluir e de se mover. Sua máxima era “É impossível banhar-se duas vezes no mesmo rio”.

¹² Escola Eleática foi fundada na Heléia que era uma região da Grécia Antiga, hoje costa da Itália. Lá nasceu o filósofo Parmênides para o qual o movimento, a evolução ou a mutação de qualquer coisa ou objeto é o Não-Ser. O Ser preenche todo o espaço ... o Ser é imutável, eterno e imóvel. Mudança, transitoriedade, movimento e o vácuo são o Não-Ser e, portanto, irreais e ilusórios.

- **Uma cadeira é constituída de madeira:** a madeira é a *matéria* que pode assumir indefinidas formas (ela é corruptível, pode ter movimento, pode mudar) e ela significa o *ser em potência* – potência em se transformar e assumir muitas formas – enquanto a cadeira é a forma e é o *ser em ato*.
- **Semente de um vegetal:** a semente representa o *ser em potência*, potência em se transformar numa determinada árvore que seria o *ser realizado*.
- **Um feto humano:** o feto é o *ser em potência* que irá evoluir (movimentar-se) na direção de um futuro bebê (*ser em ato*).

Já os corpos celestes, segundo Aristóteles, já são perfeitos e não carecem de mudança em sua essência, mas podem ter apenas deslocamentos físicos. Isto é provado pelos sentidos, pois em nenhuma época houve qualquer alteração registrada nos seres celestiais. Desta forma o Universo estava dividido em duas partes: o *mundo sublunar* (da Terra à Lua) e o *mundo supralunar* (da Lua até a esfera das estrelas fixas). Assim está constituído o *Cosmo* para ele.

Para este grande pensador todo movimento tem uma causa, sua máxima era “tudo que move é movido”. Isto equivale dizer que para iniciar um movimento ou para manter um corpo em movimento é preciso uma “ação” ou uma “causa” interna ou externa ao mesmo corpo. A causa eficiente é o **agente** que produz o resultado e a causa final, por sua vez, seria a **finalidade** da mudança, para onde o corpo tende (a finalidade de uma semente é transformar-se numa árvore, por exemplo). Em termos mais atuais a causa eficiente pode ser identificada com o conceito de força.

Movimento violento e movimento natural

No pensamento aristotélico não é importante dizer *porque* um corpo se desloca, mas *para que* ele se desloca. Daí surge a ideia de *lugar natural* de um corpo. Um corpo terrestre se movimenta para alcançar seu lugar natural. Dependendo de que é feito o corpo, este pode ter posições acima ou abaixo de

outros. O lugar natural do elemento terra era na parte mais inferior, enquanto o elemento fogo na parte mais superior. A figura abaixo ilustra as ideias de Aristóteles.

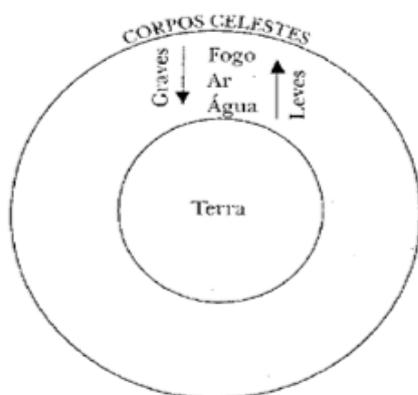


Figura 7: A teoria dos quatro elementos e dos lugares naturais.

Fonte: Retirado do livro “Origens e evolução das ideias da Física” - EDUFBA

Daí fica explicado porque corpos mais pesados (graves), como uma pedra, tende a cair na direção do centro da Terra, quando soltos de uma altura, enquanto a fumaça de uma fogueira sobe até regiões mais altas. Isto significa que quando um corpo é retirado de seu lugar natural, eles tendem retornar, realizando um movimento também natural. Logo o corpo guarda com o lugar uma certa “relação”. Mas não somente estes exemplos de movimentos existem. No texto “As raízes

históricas da cinemática” fizemos referência ao movimento de uma pedra presa na extremidade de um barbante. Um agente pode impor a esta pedra um movimento circular, que não é seu movimento natural, mas aquilo que Aristóteles chamou de movimento violento. Ao cessar a ação do agente externo, a pedra cairá em linha reta dirigindo-se ao seu lugar natural.

Queda dos corpos segundo a Teoria de Aristóteles

A queda dos graves (corpos pesados) nas proximidades da superfície terrestre é compreendida em função desse “desejo” do corpo retornar ao seu lugar natural. Eles tendem a movimentar-se para o centro do Universo, que neste caso coincidiria com o centro da Terra. Para ele um objeto cai porque está em busca de seu lugar e, ao encontrá-lo, fica em repouso por não haver mais uma causa final para seu movimento. Mas sabemos que há corpos mais pesados que outros... E Aristóteles aceitava que o peso do corpo influenciaria na queda de um grave – não só o peso como também a resistência do meio. Para o pensador quanto maior o peso maior a velocidade de queda, em outras palavras, mais rápido o corpo chega ao seu lugar natural e quanto maior a resistência do meio menor a velocidade, mais o corpo demora “cair”. Podemos

até escrever em forma de equação os resultados das observações de Aristóteles, usando a Álgebra atual:

$$\frac{P}{R} = V \quad \text{eq(1)}$$

onde P é o peso, R é a resistência do meio e V a velocidade. O raciocínio do sábio grego é puramente intuitivo, no sentido de ser baseado na observação imediata. Ao soltar da mesma altura uma bolinha de chumbo e uma bolinha de papel, podemos sem medo de errar afirmar que a mais pesada chega primeiro ao chão. Às vezes a física de Aristóteles é também chamada de a física do senso comum, pois não se baseia num método mais rigoroso para se chegar aos resultados e fatos.

E quanto a um corpo lançado obliquamente, tipo uma bala de canhão? No pensamento aristotélico só pode haver um movimento de cada vez, logo isso impõe que a subida é descrita por uma reta ascendente e, ao cessar a causa externa, a bala cairia em linha reta para seu lugar natural. A figura abaixo ilustra a situação.

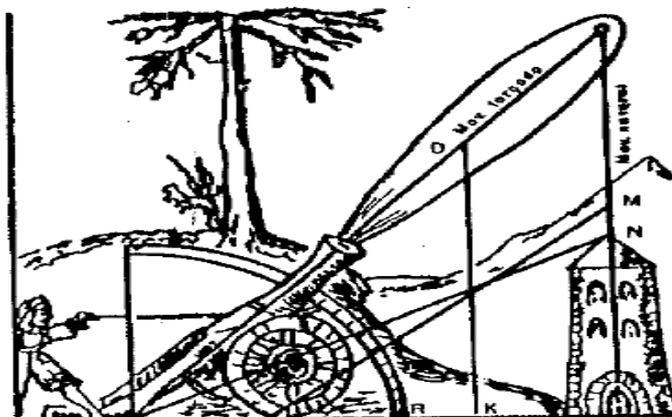


Figura 8: O movimento de projéteis, segundo Aristóteles

Fonte: Retirado do livro "Origens e evolução das ideias da Física" - EDUFBA

Alguns Questionamentos:

1. A máxima de Aristóteles era "tudo que move é movido", segundo o texto acima. Isto equivale dizer que para um corpo mover-se é preciso uma ação, uma força, um agente atuando, como no caso de uma carroça sendo puxada por cavalos. Mas um caso bem conhecido de todos é que um objeto ao ser lançado para cima, ele sobe verticalmente e tem sua

velocidade reduzida até o ponto mais alto. Mas enquanto ele sobe, quem está impulsionando? Como este fato é explicado dentro da teoria de Aristóteles?

2. Considere o objeto do item anterior. Há resistência na subida? Quem exerce esse papel? Isto é compatível com a resposta anterior?
3. A velocidade de queda é para o aristotelismo proporcional ao peso do corpo. Será isso verdade? Identifique um fato a favor e outro contrário a este argumento.
4. Como é o movimento natural dos corpos pesados próximo à superfície terrestre? E como é o movimento natural dos corpos celestes? Com base em que Aristóteles dá suas explicações para esses movimentos?
5. O pensador grego afirmava ser os corpos celestes incorruptíveis, ou seja, eternos, perfeitos, imutáveis em sua essência. Você concorda ou discorda? Discuta com seus colegas e professor a respeito da incorruptibilidade dos céus.
6. Há algum tipo de movimento que pode ser eterno na teoria aristotélica do movimento?
7. A partir da ideia do lugar natural, você consegue identificar se a Terra está em repouso ou em movimento? Discuta no grupo.

○ ESTUDO DA QUEDA LIVRE APÓS ARISTÓTELES

Aqui irei apenas pontuar alguns avanços no estudo dos graves, seja os mesmos contrários ou a favor das ideias de Aristóteles, que perduraram como a única teoria do Universo completa, estudada e analisada em diferentes regiões e até mesmo adaptadas pela fé cristã. Mas primeiramente digo algo a mais. As pessoas, em geral, tendem a interpretar e compreender os fatos referentes ao movimento pensando numa Terra em repouso, mesmo estando convencidas do movimento diário e anual de nosso planeta. No entanto, estas mesmas pessoas não conseguem elaborar, em seu pensamento, ideias explicativas dos fenômenos com a Terra em movimento, logo porque isto é contra-intuitivo (ora, se a Terra estivesse de fato em movimento, sem dúvida deixaria para trás a Lua, segundo o aristotelismo, sem falar que não sentiríamos nenhum movimento a não ser alguns tremores devido ao às placas tectônicas).

E esta discussão se concentrou no tema que queremos esclarecer – queda dos corpos.

Um problema é válido para manter a discussão:

“Suponha que vamos ao topo de uma torre, ou no 3º andar de um prédio, e deixemos cair dois objetos, tipo duas bolas idênticas, uma pesando 10 kg e a outra apenas 1 kg. Qual delas tocaria o solo em primeiro lugar? E quanto tempo antes da outra o faria? Quem atingiria o solo com maior velocidade?”

Abaixo algumas soluções registradas.

- **Aristóteles:** a bola mais pesada chegaria não só num tempo mais curto como também com uma velocidade dez vezes maior.
- **Joannes Philoponus (João, o Gramático):** Philoponus, um erudito bizantino, no século VI, andava estudando esta questão (não exatamente da mesma forma como aqui elaborada). Ele afirmava que as experiências contradiz as opiniões aceitas a respeito. Para ele uma “observação real” era muito mais convincente que qualquer argumento verbal e filosófico.

"Porque, se você deixar cair da mesma altura dois corpos, um dos quais é muitas vezes mais pesado que o outro, verá que a razão dos tempos gastos no movimento não depende da razão dos pesos, mas que a diferença em tempo é muito pequena. E, assim, se a diferença em pesos não é considerável, a saber, se um é, digamos, o dobro do outro, não haverá diferença, ou então uma diferença imperceptível em tempos, embora a diferença em peso não seja de modo algum desprezível, com um corpo pesando duas vezes mais que o outro."

- **Um milênio após Philoponus, o engenheiro, físico e matemático Simon Stevin realizou a experiência:** Stevin estava mais preocupado em provar o erro de Aristóteles. Ele descreveu sua experiência da seguinte forma:

"A experiência que contradiz Aristóteles é a seguinte: Tomemos (como o ilustre Sr. Jan Cornets de Groot, grande investigador dos segredos da Natureza e eu próprio fizemos) duas esferas de chumbo, uma dez vezes maior e mais pesada que a outra e deixemo-las cair juntas, de uma altura de 10 metros numa tábua ou em alguma coisa sobre a qual elas produzam um som perceptível. Verificar-se-á então que a mais leve não levará dez vezes mais tempo no seu caminho do que a mais pesada, mas que elas caem praticamente juntas sobre a tábua, a ponto de seus dois sons parecerem uma única pancada seca "

- **Avempace (1106-1138)**: filósofo árabe espanhol, defendeu as ideias de Philoponus e refutou as afirmações de Aristóteles de que o tempo de queda de um corpo é diretamente proporcional à densidade e, portanto, à resistência do meio por onde se movimenta o corpo.
- **Thomas Bradwardine (1290-1343)**: matemático do Colégio de Merton; ele concluiu que dois corpos homogêneos de tamanhos diferentes e, portanto, de pesos diferentes, cairiam no vácuo com velocidade iguais; ele foi o primeiro a fazer uma análise matemática detalhada do movimento.
- **Girolamo Borro**: Professor em Pisa, este pensador afirmou num livro de 1575 que deixou cair bocados de madeira e chumbo, de igual peso mas de diferentes tamanhos e descobriu que “o chumbo caiu mais devagar”. Afirmou que a experiência tinha sido feita “não uma mais muitas vezes” e “com o mesmo resultado”. Este mesmo resultado foi registrado também por Galileu Galilei, que disse que corpos mais leves avançam mais rapidamente no início do movimento de queda.

As referidas tentativas de diferentes pensadores, em várias épocas, demonstram o interesse no estudo da natureza da queda dos corpos. Este estudo culmina com o trabalho do italiano Galileu, o personagem central de nossa discussão, que fez um estudo pormenorizado para a época, estabelecendo novos métodos.

GALILEU GALILEI

Notas biográficas



Figura 9: Galileu em sua velhice

Fonte:

<http://www.infoescola.com/biografias/galileu-galilei/> Acessado em: 04/07/16

Galileu Galilei (1564-1642) nasceu na cidade de Pisa, Itália. Filho de Vincenzo Galileu, um nobre empobrecido, mas culto, com habilidades em Matemática e Música. Galileu, aos dezessete anos, foi estudar medicina na Universidade local, porém não conseguiu concluir o curso devido sua condição financeira e voltou-se para as investigações científicas e estudos da Matemática, apesar da opinião contrária de seu pai, que não desejava este destino para o filho. De 1585 a 1589 Galileu ministrou aulas particulares de Matemática em Florença e lecionou em escolas públicas e particulares em Siena.

Traços pessoais

Galileu tinha estatura média, um corpo anguloso, de aparência e disposição joviais. Seu biógrafo, Viviani, comentou que ele era tão rápido para se irritar quanto para se acalmar. Era um professor extraordinário e ótimo orador e suas aulas eram muito frequentadas. Tanto a prudência quanto a audácia estavam presentes na personalidade de Galileu. Em Pisa, logo atribuíram-lhe a alcunha de “o discutidor” devido seus questionamentos, sarcasmo e ironia. Tornou-se adepto do sistema copernicano e para aqueles que não o entendiam ou não o aceitavam reservava o título de idiotas e pigmeus mentais. Devido a posicionamentos como este ele também agregou muitos inimigos.

O Telescópio

Um holandês polidor de lentes, Hans Lipperhey, havia requerido, em outubro de 1608, a patente de um dispositivo que fazia os objetos distantes parecerem próximos. Galileu ouviu discussões sobre essa novidade durante uma visita a Veneza em julho de 1609 e foi informado por um amigo pessoal

(Sarpi) que o dispositivo realmente existia. Retornou imediatamente a Pádua, pois diziam que um forasteiro tinha um exemplar, mas ao chegar tal forasteiro já havia partido e levado consigo o instrumento. Apressadamente Galileu resolve construir seu próprio objeto de aumento. Ao final das contas ele obteve um instrumento de observação muito mais potente, que lhe garantiu um emprego vitalício como professor da universidade, pois este aparelho era muito útil na marinha. Ele direcionou este instrumento (luneta terrestre ou telescópio), pela primeira vez, para os céus no início de 1610, com resultados espantosos. Galileu não foi o único observador a apontar o novo instrumento para os céus. É mesmo possível que dois observadores – Thomas Harriot na Inglaterra e Simon Marius na Alemanha – o tenham precedido. Mas parece haver geral acordo em que o crédito por ter usado em primeiro lugar o telescópio para fins astronômicos – pode ser dado a Galileu, pelo "modo persistente pelo qual ele examinou objeto após objeto, sempre que parecia haver perspectiva razoável de posteriores resultados, pela energia e grandeza com que seguiu cada indicação, pela independência de espírito com que interpretou suas observações. A Lua apresentava uma superfície imperfeita, cheia de crateras e montanhas, descobriu que quatro satélites viajam ao redor de Júpiter, registrou as manchas solares, as fases de Vênus, os anéis de Saturno e seu aspecto oval, além de miríades de estrelas em nossa Galáxia, jamais observadas. Muitas destas descobertas enfraqueceram o sistema de mundo dos gregos, principalmente a respeito da incorruptibilidade dos céus. Isto trouxe fama a Galileu, amigos e admiradores ilustres como nobres, cardeais e o próprio papa.

Principais Obras

Podemos destacar duas principais obras de Galileu

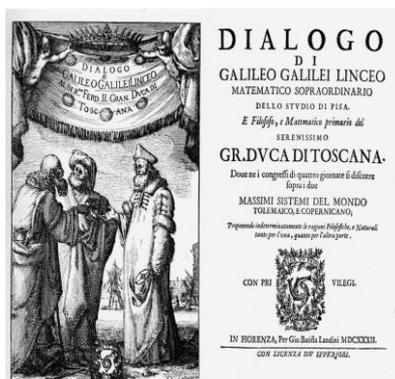


Figura 10: Imagem do livro Diálogo

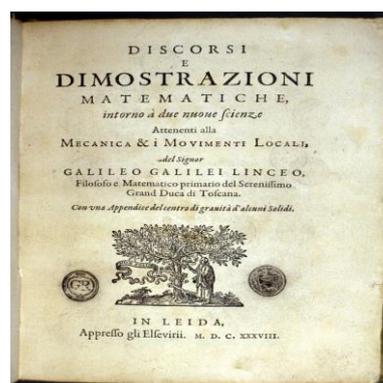


Figura 11: Imagem do livro Duas Novas Ciências de Galileu

Diálogo Sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo, Ptolomaico e Copernicano: A obra tem a forma literária de uma discussão entre um representante de Copérnico (Salviati), outro de Ptolomeu e Aristóteles (Simplício), e um leigo culto, Sagredo, cujo apoio os outros dois procuram obter. O livro é uma defesa do sistema copernicano, que adota o Sol como o centro do Universo. O livro não é a palavra final a respeito do problema da imobilidade da Terra, mas somente estabelece a possibilidade de uma teoria do movimento com a Terra fora do repouso e que todos os argumentos aristotélicos que tentam provar que a Terra está parada, podem ser refutados.

Discurso e Demonstrações Matemáticas em Torno de Duas Novas Ciências: Segue o mesmo modelo de o *Diálogo*, com uma discussão em quatro jornadas entre os três personagens já citados. Esta obra foi escrita durante sua prisão domiciliar (ele foi condenado pela Igreja Católica por heresia) e publicada no ano de 1638. As duas novas ciências seriam “a resistência dos materiais” e o “estudo do movimento”. Historiadores especialistas em Galileu afirmam que todos os teoremas sobre o movimento naturalmente acelerado que ele apresenta na terceira jornada foram descobertos praticamente entre 1604 e 1609. As *duas Novas Ciências* mostram que Galileu é o primeiro físico no sentido moderno, pois é o primeiro a perceber que a justificação e aceitação da hipótese copernicana não dependem apenas da evidência astronômica, mas também de sua concordância com as leis da Mecânica.

A lei da queda livre

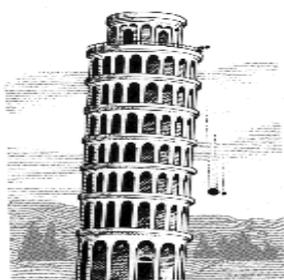


Figura 12: Desenho ilustrando a queda de duas bolas da Torre de Pisa

Fonte: <http://para-fisica.blogspot.com/2009/08/pena-e-o-martelo-na-lua.html> Acessado em: 04/07/16

Pelas leituras anteriores percebemos que o estudo do movimento, em especial o de queda livre, era bastante discutido entre estudiosos do tema, geralmente professores das universidades e filósofos. Além disso, a obra de Copérnico gerou um clima de instabilidade, já que suas ideias se confrontavam com aquelas ensinadas pela Igreja Católica, que detinha o conhecimento na época. E Galileu, já adepto do copernicanismo, trata de levar esse estudo

até às últimas consequências, disposto a pagar com sua própria liberdade.

Ao estudar o problema da queda dos corpos, Galileu, sabemos, fez experiências nas quais deixou cair objetos de elevações e, nos dias de sua mocidade em Pisa de uma torre. Não podemos dizer se esta foi a famosa Torre inclinada de Pisa, ou alguma outra; os assentamentos que fez nos dizem meramente que foi de uma torre. Posteriormente, seu biógrafo Viviani, que conheceu Galileu nos seus últimos anos, contou uma história fascinante, que desde então criou raízes como uma lenda sobre Galíleu.

"Desejando refutar Aristóteles, subiu à Torre inclinada de Pisa, "na presença de todos os outros professores e filósofos e de todos os estudantes", e, "por experiências repetidas" provou "que na velocidade de corpos em movimento constituídos do mesmo material e de massas desiguais, movendo-se através do mesmo meio, os tempos de queda não são inversamente proporcionais às suas massas como afirmara Aristóteles, mas que eles se movem com igual velocidade ..."

Tal experiência, se realizada, só poderia ter o objetivo de provar o erro de Aristóteles, segundo I. Bernard Cohen. Mas o importante é que os resultados não concordam com os dados do próprio Galileu, porque, como mencionado anteriormente, explicou Galileu muito cuidadosamente que corpos de tamanhos desiguais não atingem exatamente a mesma velocidade, alcançando o mais pesado dos dois a Terra, um pouco antes do mais leve. Embora vibrassem novo golpe em Aristóteles, as experiências da Torre de Pisa ou outra qualquer, não revelaram certamente a Galileu uma lei nova e correta sobre a queda dos corpos. Entretanto, a formulação da lei foi um dos seus grandes feitos.

Galileu assumiu que outros já tinham verificado que um corpo em queda acelera continuamente, no entanto ele foi mais adiante, revelando como se dá essa aceleração. Assumindo que a Natureza deve agir da forma mais simples (você lembra do princípio de Ockham?) ele afirmou:

"Quando ... observo uma pedra, inicialmente em repouso, caindo de uma posição elevada e continuamente adquirindo novos incrementos de velocidade, por que não hei de acreditar que tais aumentos ocorram de maneira que é extremamente simples e óbvia para qualquer pessoa? Se agora examinarmos a matéria cuidadosamente, não achamos adição ou incremento mais simples do que aquele que se repete sempre do mesmo modo"

Galileu escreveu ao seu amigo Fra Paolo Sarpi, sobre esse mesmíssimo assunto. Nessa carta, Galileu admitiu que a lei correta da queda livre dos corpos é aquela na qual a velocidade aumenta proporcionalmente à distância percorrida na queda. Partindo desta hipótese Galileu erroneamente acreditou poder deduzir que a distância percorrida na queda deveria ser proporcional ao quadrado do tempo:

$$V \propto D \quad \rightarrow \quad D \propto t^2 \quad eq(2)$$

Entre a carta escrita a Sarpi e o aparecimento de *As Duas Novas Ciências* (1638) Galileu corrigiu o seu erro, admitindo agora que a velocidade é proporcional ao tempo, que também é uma relação simples, como ele mesmo exigia:

$$V \propto t \quad \rightarrow \quad D \propto t^2 \quad eq(3)$$

Assim a velocidade de um corpo que cai, a partir do repouso, aumenta na mesma proporção que os números naturais 1, 2, 3 ... enquanto os espaços D_1, D_2, D_3 que ele percorre a intervalos de tempo iguais e consecutivos estão entre si como os números ímpares, 1, 3, 5, 7 ... Isto revela a influência platônica e pitagórica no método de Galileu, já que também acreditava que as leis da Natureza poderiam ser expressas por números e as relações entre tais.

Uma conclusão geral de Galileu muito importante: quando a resistência se torna tão grande que iguala o peso do corpo que cai, a resistência do ar "evitará qualquer aumento em velocidade e tornará o movimento uniforme". Isto te faz lembrar de algum princípio?

O processo de Galileu, tal como o descrevemos, assemelha-se ao usado pelos maiores cientistas, mas difere radicalmente do que é comumente descrito nos compêndios elementares como "método científico". Em geral dizemos que o primeiro passo é "coletar todas as informações importantes", e assim por diante. O método usual de proceder, dizem-nos, é colher um grande número de observações, ou realizar uma série de experiências, depois classificar os resultados, generalizá-los, procurar uma relação matemática e, finalmente, descobrir uma lei. Mas Galileu procede sentando-se à sua mesa com papel e lápis, pensando e criando idéias. Começa com uma convicção fundamental de que a Natureza é simples. Torna-se claro, do que foi exposto, que o objetivo das observações e experiências, tais como a da queda livre, não era a formulação de uma lei, mas simplesmente certificar-se que de fato tais acelerações, como as discutiu Galileu, podem realmente ocorrer na Natureza.

Alguns Questionamentos:

1. Quais descobertas de Galileu, segundo o texto, enfraqueceram a ideia de *Cosmo* de Aristóteles? Explique e discuta com seus colegas.
2. Na conclusão de Philoponus há uma *pequena diferença de tempo* na queda dos corpos de diferentes pesos. A quem você como investigador atribui esta *pequena diferença*?
3. Um resultado muito intrigante, até pouco tempo, é que Galileu em sua obra havia dito que um corpo mais leve, no início da queda, avança na frente do mais pesado. Como você justificaria este resultado também encontrado por Girolamo Borro?
4. Um famoso historiador da Ciência, Alexander Koyré, publicou um livro cujo título era "*Estudos Galilaicos*". Neste livro ele desenvolveu a ideia de que Galileu não recorrera à experiências como se havia acreditado. Em resumo, ele acha que há uma tendência exagerada a crer que este grande físico descobriu suas leis graças à observação e à experimentação cuidadosa, como no caso da queda dos graves na Torre de Pisa. Lendas, afirmou Koyré. As famosas experiências foram, na verdade, marginais e até inúteis ou mesmo imaginárias. E você concorda ou discorda de Koyré? Em outras etapas retornaremos a esta pergunta.
5. Galileu não atribuiu valor a aceleração de queda dos corpos, apenas as devidas proporções entre espaços, velocidades e tempos. Por quê?



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 3

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta atividade consiste em uma releitura da obra “Duas Novas Ciências” de Galileu Galilei

Momento de Aprendizagem – Passo 3 – 03 aulas

Texto 2 O PLANO INCLINADO: OBJETO DA CINEMÁTICA GALILEANA

O MOVIMENTO NATURALMENTE ACELERADO

Nos *Discursos e Demonstrações Matemáticas Concernentes a Duas Novas Ciências* o autor, o italiano Galileu Galilei, trata daquelas que seriam as duas novas ciências: a resistência dos materiais e o estudo do movimento. Aqui iremos apenas apresentar as partes mais relevantes para finalização da pesquisa, como as definições, corolários, diálogos e experimentos, quando necessário.

-//-

TERCEIRA JORNADA

SALVIATI LENDO UM LIVRO DE GALILEU

DO MOVIMENTO LOCAL

-//-

DO MOVIMENTO UNIFORME

Para o movimento constante ou uniforme daremos uma única definição que formulo desta maneira:

DEFINIÇÃO

Entendo por movimento constante ou uniforme aquele cujos espaços, percorridos por um móvel em tempos iguais quaisquer, são iguais entre si.

ADVERTÊNCIA

Parece oportuno acrescentar à velha definição¹³ (que chama simplesmente de movimento uniforme àquele que, em tempos iguais,

¹³ Num sumário de 1369 (por João de Holanda) aparece uma definição do movimento uniforme como aquele em que "o corpo atravessa espaços iguais em intervalos de tempos iguais", desmintindo Galileu, por ter afirmado ser o primeiro a definir o movimento uniforme. No

percorre espaços iguais) a palavra quaisquer (quibuscumque), ou seja, para todos os tempos iguais: pode, efetivamente, acontecer que um móvel percorra espaços iguais em tempos determinados, ainda que não sejam iguais os espaços percorridos em frações menores e iguais desses mesmos tempos. Da definição dada, dependem quatro axiomas ...

-//-

A descrição do movimento na obra é resultado de uma análise geométrica, o que é inovador em Galileu, torna-se uma nova forma de análise do movimento iniciada pelos mertonianos.

Quando ele compara intervalos de tempo e distâncias percorridas com segmentos de retas, está deixando claro que as verdades da Natureza só podem ser reveladas através de relações geométricas e por números e suas relações, isto equivale a uma herança pitagórica, escola que preconizava que todos os segredos da Natureza podem ser encontrados nos números e nas figuras geométricas. Galileu sempre compara tempo com tempo e distância com distância e nunca admitia ser possível a razão entre distância e tempo e, conseqüentemente, diferencia-se da nossa habitual maneira de definir velocidade (média ou instantânea).

Movimento Uniformemente Acelerado

Após analisar as propriedades do movimento uniforme, Galileu volta-se para o movimento acelerado. O problema fundamental que ele tinha em mente era determinar uma definição que melhor se ajuste a natureza. Não se tratava de qualquer movimento acelerado, mas exatamente aquele que pode-se inferir naturalmente, daí ter chamado este movimento de *movimento naturalmente acelerado*. Numa perspectiva investigativa, trabalhando na elaboração de ideias e formas de experimentá-las, Galileu trata da queda de corpos pesados próximos à superfície da Terra, sempre considerando que estes movimentos devem ser o mais simples possível. A seguir você encontrará na forma exposta nas *Duas Novas Ciências* as descobertas feitas pelo físico italiano.

entanto, fique atento no fato de Galileu acrescentar o termo quaisquer o que faz uma grande diferença no rigor da definição.

“Chamamos movimento igualmente, ou seja, uniformemente acelerado, àquele que, partindo do repouso, adquire em tempos iguais momentos iguais de velocidade”

-//-

DO MOVIMENTO NATURALMENTE ACELERADO

Tendo tratado, no livro anterior, das propriedades do movimento uniforme, examinemos minuciosamente o movimento acelerado. (...) visto que a natureza se serve de uma forma determinada de aceleração na queda dos graves, não é inconveniente estudar suas propriedades, fazendo com que nossa definição do movimento acelerado corresponda à essência do movimento naturalmente acelerado. (...)

Quando, portanto, observo uma pedra que cai de uma certa altura a partir do repouso e que adquire pouco a pouco novos acréscimos de velocidade, por que não posso acreditar que tais acréscimos de velocidade não ocorrem segundo a proporção mais simples e mais óbvia? Se considerarmos atentamente o problema, não encontraremos nenhum acréscimo mais simples que aquele que sempre se repete da mesma maneira. (...) Por este motivo acreditamos que não nos afastamos da justa razão, se admitimos que a intensificação da velocidade é proporcional à extensão do tempo (...)

-//-

Ele estava convicto que um corpo em queda livre é um exemplo natural de movimento uniformemente acelerado e passa a investigá-lo. É fácil concluir que na queda livre, para o autor, a velocidade cresce como os números naturais 1, 2, 3 ... em intervalos de tempo iguais, ou seja, a velocidade no segundo intervalo de tempo será o dobro da velocidade no primeiro intervalo, enquanto a velocidade (ou grau de velocidade como ele dizia) no terceiro intervalo de tempo é o triplo da velocidade no primeiro intervalo e assim por diante. Mais uma vez percebemos a importância das relações entre os números na análise do autor.

A DESCRIÇÃO DO PLANO INCLINADO¹⁴

Embora o aspecto numérico da investigação feita na obra seja satisfatório para Salviati, o personagem que no *Discurso* fala por Galileu, e para Sagredo, o homem de educação geral e boa vontade que habitualmente apóia Galileu, este último reconhece que este ponto de vista platônico dificilmente pode satisfazer um aristotélico. Veja abaixo o que Simplício fala desse método de investigação imposto pelo autor.

Simplício – *Tive verdadeiramente mais prazer com esta simples e clara argumentação do Sr. Sagredo do que com a demonstração do Autor, para mim mais obscura, de modo que estou plenamente convencido de que as coisas se passam assim, uma vez enunciada e aceita a definição do movimento uniformemente acelerado. Mas, se é essa a aceleração da qual se serve a natureza no movimento de queda dos graves, tenho no momento minhas dúvidas. Parece-me, pelo que diz respeito a mim e a outros que pensam como eu, que teria sido oportuno neste lugar apresentar uma das muitas experiências que, em diversos casos, concordam com as conclusões demonstradas.*

Salviati – *Como verdadeiro homem de ciência, sua exigência é muito razoável; pois é assim que convém proceder nas ciências, que aplicam as demonstrações matemáticas aos fenômenos naturais como se observa no caso da Perspectiva, da Astronomia, da Mecânica, da Música e de outras, as quais confirmam com experiências sensatas seus princípios, que são os fundamentos de a toda estrutura ulterior. (...) Pelo que se refere às experiências, o autor não deixou de fazê-las; e para assegurar-se de que a aceleração dos graves, que caem de modo natural, acontece na proporção acima afirmada encontrei-me muitas vezes em sua companhia, procurando tal prova da seguinte maneira.*

"Tomou-se um pedaço de madeira de mais ou menos 6 metros de comprimento, 25 centímetros de largura e três dedos de espessura; na sua borda cavou-se um canal de pouco mais de um dedo de largura; tendo feito este sulco bem reto, liso e polido, e tendo-o forrado com pergaminho,

¹⁴ Problemas envolvendo o plano inclinado já haviam sido considerados por Herão de Alexandria, João Numerário, Benedetti e Gerolamo Cardano. Já era conhecido que o peso efetivo de um corpo em movimento num plano inclinado dependia do ângulo de inclinação.

também tão liso e polido quanto possível, fizemos rolar ao longo dele uma bola de bronze, dura, lisa e bem redonda. Colocando este bloco em posição inclinada, levantando uma das extremidades 50 centímetros ou um metro mais ou menos acima da outra, fizemos rolar a bola, como eu estava dizendo, ao longo do canal, anotando, da maneira a ser descrita daqui a pouco, o tempo necessário para realizar a descida. Repetimos esta experiência mais de uma vez a fim de medir o tempo com tal exatidão que o desvio entre duas observações nunca excedesse um décimo de uma pulsação. Tendo realizado esta operação e nos assegurado da confiança que podia merecer, fizemos então rolar a bola somente num quarto do comprimento do canal; e tendo medido o tempo de sua descida, achamos que ele era precisamente a metade do primeiro. Experimentamos, a seguir, novas distâncias, comparando o tempo para o comprimento total com o da metade, ou com o de dois terços, ou de três quartos, ou em verdade com o de qualquer fração; em tais experiências, repetidas uma boa centena de vezes sempre achamos que os espaços percorridos estavam uns para os outros como os quadrados dos tempos decorridos, e isto era verdade para todas as inclinações do plano, isto é, do canal, ao longo do qual fazíamos rolar a bola. Também observamos que os tempos da descida, para várias inclinações do plano, mantinham uns para com os outros precisamente a relação que, como veremos mais tarde, o autor tinha predito e demonstrado. Para a medida do tempo empregamos um grande vaso d'água, colocado em posição elevada; no fundo do vaso foi soldado um tubo de pequeno diâmetro, dando um pequeno jato que recolhíamos num copo durante o tempo de cada descida, tanto para toda a extensão do canal, como para uma parte; a água assim recolhida era pesada após cada descida, numa balança muito sensível; as diferenças e razões desses pesos deram-nos as diferenças e razões dos tempos, e isto com tal precisão que, embora a operação fosse repetida muitas e muitas vezes, não havia discrepância apreciável nos resultados".

Segundo Cohen, torna-se claro, do que foi exposto, que o objetivo das observações e experiências, tais como a do plano inclinado, não era a formulação de uma lei, mas simplesmente certificar-se que de fato tais acelerações, como as discutiu Galileu, podem realmente ocorrer na Natureza. Além disso, o que está demonstrado nessa série de experiências não é que a

velocidade é proporcional ao tempo, mas somente que a distância é proporcional ao quadrado do tempo.

Resumo de alguns resultados encontrados por Galileu

- Contrariamente à crença popular, um objeto pesado e um objeto leve não caem de um lugar alto com velocidades proporcionais aos pesos, mas com velocidades quase idênticas;
- Se um corpo cai no ar (ou em outro meio que ofereça resistência), a resistência aumentará em função da velocidade. Quando a resistência iguala o peso do corpo, a aceleração cessa e o corpo continuará a cair com velocidade uniforme;
- Em determinadas circunstâncias (por exemplo, num plano horizontal perfeitamente liso) o corpo continuará o movimento que lhe foi comunicado;
- Na aceleração natural, ou no movimento uniformemente acelerado, a velocidade aumenta na mesma proporção que os inteiros, 1, 2, 3, ... (escrevemos esta lei algébrica na forma $V \propto T$ ou $V = AT$ para um móvel que parte do repouso). Segue-se que a distância aumenta com o quadrado do tempo ou $D \propto T^2$ (realmente $D = AT^2$). Galileu mostrou experimentalmente que a relação $D \propto T^2$ é válida para o movimento de uma bola que rola no plano inclinado.
 - a) Em tal movimento, as distâncias percorridas em sucessivos intervalos de tempo iguais estão entre si como os números ímpares consecutivos 1, 3, 5, 7, ..., porque as distâncias totais percorridas são como os quadrados (1, 4, 9, 16, ...) e $4 - 1 = 3$, $9 - 4 = 5$, $16 - 9 = 7$, ...;
- Queda livre e movimento descendente no plano inclinado são exemplos de movimento uniformemente acelerado. Daí que as leis de queda livre sejam

$$V \propto T \quad \text{e} \quad D \propto T^2$$

- a) A queda no ar não é um exemplo de movimento uniformemente acelerado puro, devido à resistência do ar; é por isso que, quando

dois corpos de peso diferente são deixados cair de uma torre, o mais pesado atingirá o solo um pouco antes do mais leve;

- No movimento ao longo do plano inclinado, a velocidade final será a mesma para todos os ângulos de inclinação desde que o ponto de partida esteja à mesma altura acima do plano horizontal.
- Ele acreditava que a demonstração que havia dado para a bola que rola por um plano inclinado devia ser verdadeira para uma bola em queda livre. De acordo com sua suposição, rolar por um plano inclinado equivale a cair verticalmente da mesma altura para efeito de velocidade máxima alcançada ao nível do chão. O único efeito do plano inclinado era o de retardar o movimento, tornando possível que medidas pudessem ser feitas.

MOMENTO DE EXECUÇÃO

As experiências de queda dos graves, juntamente com aquelas no plano inclinado, foram desacreditadas por muitos dos estudiosos contemporâneos a Galileu. O padre Mersenne tentou realizar essas experiências, verificou que nunca podia obter o mesmo resultado encontrado pelo físico (aqui ele fazia referência a uma experiência específica). Mais recentemente, o historiador Alexander Koyré publicou um livro cujo título é “*Estudos Galilaicos*” e classificou Galileu como um pensador platônico e que as experiências em seu trabalho tem um papel secundário. Em outros momentos, afirma que o grande físico, aclamado por elaborar um novo método de investigação na ciência, na verdade nunca fez os experimentos descritos em sua obra, que não passavam de experimentos mentais. No entanto, outros defendem que Galileu levou a cabo estes experimentos, apesar de todas as dificuldades técnicas da época.

Cientes deste cenário, a seguir iremos tentar reproduzir alguns resultados “encontrados” por Galileu.

- Os materiais estão disponíveis no laboratório de Física: um plano inclinado, um recipiente feito de PVC que será usado para contabilizar o

tempo, duas bolas de bilhar de diferentes pesos, vela, uma balança, trena, cronômetro.

- Alguns softwares serão disponibilizados, caso seja necessário, para medir tempo, frequências de sons emitidos etc., além de computador.
- Livros para consulta, caso seja necessário.

Como proceder?

O diálogo entre os personagens do livro “*Discursos*” será o guia da prática, além de alguns resultados que os alunos desejarem verificar. A descrição do plano inclinado, anteriormente apresentada, já propõe o que deve ser medido.

Como registrar?

Faça anotações, áudios das discussões, tabelas, gráficos etc. Se possível elabore um texto descrevendo quais foram os passos seguidos e as conclusões.

Questionamentos

1. Você consegue identificar o que motivou Galileu a propor o experimento do Plano Inclinado? Escreva aqui essa motivação.
2. Em algum momento o movimento no plano inclinado se assemelha ao movimento de queda vertical? Cite semelhanças e diferenças, caso você consiga identificar.
3. O método que Galileu usou para medir o tempo das quedas era confiável?
4. Galileu não foi capaz medir a velocidade que a bola atingia ao chegar à base do plano, mas ele admitia ser essa velocidade proporcional ao tempo gasto na descida. Por que não era possível a Galileu descobrir essa velocidade?
5. O movimento no plano inclinado era uniformemente acelerado ou aproximadamente uniformemente acelerado? Justifique.
6. A causa da aceleração no plano estudado é a inclinação, podemos pensar assim. Imagine um plano horizontal, sem motivos para acelerar

ou desacelerar, o que aconteceria a uma bola inicialmente impulsionada neste plano, caso não tivesse atrito?

7. E se o plano do item anterior fosse ilimitado (infinitamente grande), o que aconteceria com a bola?
8. Após finalizar a prática, você concorda que Galileu fez a experiência do plano inclinado?



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 4

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta ação consiste numa intervenção mediadora, de cunho pedagógico, objetivando:

1. *Organizar as ideias dos alunos após os passos anteriores da proposta*
2. *Fazer correções nas falas dos alunos, efetivar a apropriação dos conceitos, se necessário uma troca conceitual*
3. *Evitar os equívocos na forma como os alunos veem o “fazer Ciência” ou a respeito da própria natureza da Ciência*
4. *Focar nos pontos que os alunos mais se afastam das respostas, ditas científicas, corrigindo aquilo que de fato deve ser corrigido*

Este material é unicamente para o professor que pode fazer a intervenção da sua maneira, mas aqui encontram-se algumas sugestões.

Momento de Aprendizagem – Passo 4 – 03 aulas

INTERVENÇÃO MEDIADORA

Este momento, ou ação, mas se parece com um momento pós-reflexão da prática ou organização final das ideias, dos conhecimentos. Isto já estava previsto na metodologia. O passo se justifica, pois:

- As falas de muitos alunos, transcritas integralmente, ainda apresentaram-se de forma desfocadas, desarticuladas ou às vezes confusa, por isso se fez necessário esta ação posterior, com a intervenção direta do professor;
- A ação está devidamente amparada pela teoria sócio-interacionista de Vygotsky na qual o *mediador* tem uma função relevante e os conceitos cientificamente aceitos são negociados nas interações sociais, que neste caso se faz na sala de aula, entre alunos e professor.
- Após essa ação faz-se necessário uma avaliação, para verificar a eficácia desta intervenção.

Em síntese, tem-se:



Isto pode ser feito em forma de aula convencional, utilizando os diferentes recursos. Na pesquisa utilizou-se da projeção em slides mesmo, com os pontos selecionados, de forma criteriosa, dos textos anteriores, e outros como meio de ampliar o leque de conhecimento e informações interligadas dos estudantes. O mediador deve está sempre fazendo um *feedback* e, por último, aplicar o questionário com questões problematizadoras como as encontradas nos outros passos da proposta.

O QUE DISCUTIR NA SALA

Analisando as perguntas e repostas, transcrevemos abaixo como forma de guia o que pode ser, posteriormente, discutido em sala de aula, com o único objetivo de garantir e efetivar a aprendizagem dos alunos.

- Reelaborar a definição de movimento: deixar claro que os antigos filósofos discordavam entre si a respeito da definição de movimento, do *ser* e o *não ser* e que Aristóteles, por exemplo, entendia o movimento como transformação, evolução, transição, crescimento etc., sempre associado a uma causa; falar de *movimento natural* e *movimento violento*.
- Mostrar a originalidade de Galileu e a influência que sofreu de seus predecessores.
- A Navalha de Ockham: esclarecer como Galileu chegou às suas conclusões, e como acreditava que elas estavam corretas, a partir deste princípio.
- Comentar sobre o Princípio de Relatividade e o Heliocentrismo, deixando claro que é possível adotar a Terra ou o Sol como centro do Universo e como isso foi importante na obra de Galileu.
- Falar da importância do Teorema da Velocidade Média, tanto para a geometrização da Física como para estudos posteriores feitos por Galileu.
- Demonstrar uma visão mais realística de Aristóteles, como: que sua teoria era, em muitos pontos, coesa e consistente; deixar transparente que mesmo antes de Galileu as ideias de Aristóteles já eram severamente criticadas; para o pensador grego a experimentação fez parte de sua obra, como na Biologia.
- Discutir a relação *Cosmo X Telescópio*: focar nas descobertas feitas com o telescópio que enfraqueceram o antigo cosmo grego; fazer entender que não foi Galileu o primeiro a observar os céus com esse instrumento, mas o primeiro a olhar os astros com uma visão investigadora e independente.
- Intensificar a discussão sobre as diferentes facetas de Galileu: platônico, experimental ou manipulador de ideias? mostra a possibilidade tanto de

ele não ter feito as muitas experiências como dele ter executado-as; falar da precariedade dos aparatos e das dificuldades pertinentes ao estudo do movimento.

- Explicar, em detalhes, o movimento de subida e descida num lançamento vertical, o movimento de projéteis, ao ser lançados obliquamente etc., usando a teoria de Aristóteles, assim como a noção de *impetus*.
- Esclarecer quanto à queda dos corpos com pesos diferentes, buscando um *link* entre a teoria de Aristóteles do movimento e as ideias de Galileu, que culminaram para um nova forma de descrever a queda dos graves.
- Dá dicas de como entender a posição da Terra no Universo (Ela está no centro ou não?) com base na ideia de *lugar natural*.
- Negociar uma melhor compreensão quanto ao movimento no plano inclinado: os resultados encontrados; o método de medir o tempo; a analogia com a queda livre no caso limite (o plano na vertical)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 5

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta ação consiste numa intervenção avaliativa, de cunho pedagógico, objetivando:

- 1. Efetivar a assimilação dos conceitos após os passos anteriores da proposta*
- 2. Verificar a aprendizagem dos conceitos e definições da cinemática galileana e sua evolução histórica*
- 3. Permitir uma avaliação do avanço atingido após as atividades em sala de aula, principalmente referente à forma de vê a Ciência*
- 4. Resolver as questões após uma breve contextualização*

Aluno: _____

Momento de Aprendizagem – Passo 5 – 02 aulas**INTERVENÇÃO AVALIATIVA Data: 16/08/2016**

Questão 1

Agora, faremos uma rápida avaliação de seus conhecimentos de Física. Você, provavelmente, deve estar preocupado em recordar tudo o que aprendeu durante a preparação para o vestibular. Mas não fique nervoso. Vamos começar a analisar seus conhecimentos de movimento e repouso. Olhe seus companheiros, já sentados em seus lugares, preste atenção em você e reflita sobre as noções de movimento, repouso e referencial. Agora, julgue as afirmativas a seguir.

01) Você está em repouso em relação a seus colegas, mas todos estão em movimento em relação à Terra.

02) Em relação ao referencial "Sol", todos nesta sala estão em movimento.

04) Mesmo para o fiscal, que não pára de andar, seria possível achar um referencial em relação ao qual ele estivesse em repouso.

08) Se dois mosquitos entrarem na sala e não pararem de amolar, podemos afirmar que certamente estarão em movimento em relação a qualquer referencial.

16) Se alguém lá fora correr atrás de um cachorro, de modo que ambos descrevam uma mesma reta, com velocidades de mesma intensidade, então a pessoa estará em repouso em relação ao cachorro e vice-versa.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

Questão 2

(F.M. Santos-SP) Considere um ponto na superfície da Terra. Podemos afirmar:

- a) o ponto descreve uma trajetória circular.
- b) o ponto está em repouso.
- c) o ponto descreve uma trajetória elíptica.
- d) o ponto descreve uma trajetória parabólica.
- e) a trajetória descrita depende do referencial adotado.

Texto Auxiliar Contextualizado 1 (TAC1)

O Princípio de Relatividade

Nicolau de Cusa (1401-1464), cardeal alemão, preferiu o neoplatonismo ao aristotelismo. Para ele, a Terra estava em movimento e não podia ocupar o centro do Universo. Já naquela época, ele afirmava que *lugar e movimento* não eram absolutos, pois dependiam de um observador, ou seja, eram relativos (o movimento absoluto representa o deslocamento de um corpo no espaço, enquanto o relativo representa um deslocamento de um corpo em relação a outro – é infrutífero perguntar se a Terra ou o Sol está em movimento absoluto)

Proposta Didática – Passo 1

Questão 3

(PUC-SP) Uma pessoa encontra-se em lugar fixo de um caminhão animado de movimento retilíneo e cujo valor da velocidade é constante. A pessoa lança uma pedra verticalmente para cima. Desprezando-se a resistência do ar, pode-se afirmar que:

- a) a pedra atingirá o solo na vertical do ponto de que foi lançada;
- b) a pedra retornará à pessoa que a lançou;
- c) a trajetória será uma reta vertical em relação à Terra;
- d) a trajetória será uma parábola em relação ao caminhão;
- e) a pedra atingirá o solo na frente do caminhão.

Questão 4

(Mackenzie-SP) Na fotografia estroboscópica de um movimento retilíneo uniforme, descrito por uma partícula, foram destacadas três posições, nos instantes t_1 , t_2 e t_3 .



Se t_1 é 8 s e t_3 é 28 s, então t_2 é:

- a) 4 s
- b) 10 s
- c) 12 s
- d) 20 s
- e) 24 s

Texto Auxiliar Contextualizado 2 (TAC2)

Na obra “Duas Novas Ciências” Galileu Galilei define o movimento constante ou uniforme e descreve algumas propriedades deste movimento por meio de axiomas, corolários e teoremas. Abaixo um teorema retirado da quarta jornada, quando Savialti está lendo a obra de Galileu.

TEOREMA I – PROPOSIÇÃO I

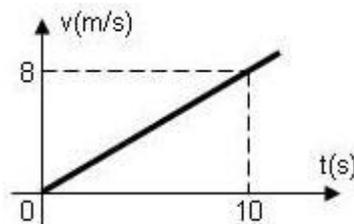
Se um móvel em movimento uniforme percorre dois espaços com a mesma velocidade, os tempos dos movimentos estão entre si como os espaços percorridos

Numa espécie de álgebra podemos reescrever o teorema da seguinte forma

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

Questão 5

(UFSE) O gráfico ilustra a velocidade de uma partícula que se move em linha reta. No intervalo de 0 a 5 s, a partícula percorreu, em metros:



a) 80

b) 40

c) 20

d) 10

e) 8

Texto Auxiliar Contextualizado 3 (TAC3)

O Teorema da Velocidade Média (TVM)

Galileu em sua obra demonstra este teorema da mesma maneira que os *mertonianos* o demonstraram. Tal teorema pode ser enunciado da seguinte maneira:

(...) É, portanto, evidente que os espaços iguais serão percorridos em tempos iguais por dois corpos, dos quais um, partindo do repouso, se move com movimento uniformemente acelerado, enquanto o outro, que se move com velocidade uniforme, se desloca com um movimento que é igual à metade do momento máximo de velocidade atingido pelo primeiro; que é o que se queria demonstrar.

Retirado do livro “Duas Novas Ciências”

Questão 6

(UFPR) Num experimento físico, um pequeno corpo é solto no vácuo de uma certa altura, com velocidade inicial nula. Entre as características e grandezas

físicas abaixo, quais as necessárias para se determinar o tempo de queda do corpo?

- 01) Altura de queda.
- 02) Volume do corpo.
- 04) Forma geométrica do corpo.
- 08) Massa do corpo.
- 16) Aceleração gravitacional local.

Questão 7

(Unicenp-PR) Durante suas férias, um professor de Física observou, em sua chácara, duas maçãs caindo de uma mesma altura de uma árvore. Ao medir as massas das duas frutas, obteve valores diferentes e passou a redigir um relatório sobre o acontecimento. Desconsiderando a resistência do ar, o relatório do professor poderia conter a seguinte informação:

- a) A maçã de maior massa chegou antes que a outra ao solo.
- b) A maçã de menor massa chegou antes que a outra ao solo.
- c) A maçã de maior massa fica sujeita a uma maior aceleração.
- d) Ambas as maçãs chegam juntas ao solo.
- e) O tempo de queda das maçãs independe do valor da aceleração gravitacional.

Questão 8

(UFAM) A razão entre as distâncias percorridas por dois corpos em queda livre, a partir do repouso, sabendo-se que a duração da queda do primeiro é o dobro da duração do segundo, é:

- a) 4 b) 2 c) 8 d) 5

Questão 9

(AEU-DF) O movimento de um corpo em queda livre após ter sido abandonado de uma determinada altura é:

- a) retilíneo uniforme.
b) uniformemente acelerado.
c) circular uniforme.
d) circularmente variado.

Questão 10

(UFMT) Galileu, na torre de Pisa, fez cair vários corpos pequenos, com o objetivo de estudar as leis do movimento dos corpos em queda. A respeito dessa experiência, julgue os itens, desprezando-se os efeitos do ar.

- I. A aceleração do movimento era a mesma para todos os corpos.
II. Se dois corpos eram soltos juntos, o mais pesado chegava ao solo horizontal no mesmo instante que o mais leve.
III. Se dois corpos eram soltos juntos, o mais pesado chegava ao solo horizontal com velocidade escalar maior que a do mais leve.

Texto Auxiliar Contextualizado 4 (TAC4)

O estudo da queda dos corpos transcende o tempo e remonta aos tempos gregos, onde os filósofos tentavam estabelecer argumentos lógicos que descrevessem este tipo de movimento. O mais conhecido, dentre estes, foi Aristóteles, que criou uma teoria de movimento com base na experimentação imediata, por meio dos sentidos. Abaixo uma lista retirada da Sequência Passo 2, contendo respostas para o movimento de queda dos graves.

- **Aristóteles:** a bola mais pesada chegaria não só num tempo mais curto como também com uma velocidade dez vezes maior.
- **Joannes Philoponus (João, o Gramático):** Philoponus, um erudito bizantino, no século VI, andava estudando esta questão (não exatamente da mesma forma como aqui elaborada). Ele afirmava que as experiências contradiz as opiniões aceitas a respeito. Para ele uma “observação real” era muito mais convincente que qualquer argumento verbal e filosófico.

"Porque, se você deixar cair da mesma altura dois corpos, um dos quais é muitas vezes mais pesado que o outro, verá que a razão dos tempos gastos no movimento não depende da razão dos pesos, mas que a diferença em tempo é muito pequena. E, assim, se a diferença em pesos não é considerável, a saber, se um é, digamos, o dobro do outro, não haverá diferença, ou então uma diferença imperceptível em tempos, embora a diferença em peso não seja de modo algum desprezível, com um corpo pesando duas vezes mais que o outro."

- **Um milênio após Philoponus, o engenheiro, físico e matemático Simon Stevin realizou a experiência:** Stevin estava mais preocupado em provar o erro de Aristóteles. Ele descreveu sua experiência da seguinte forma:

"A experiência que contradiz Aristóteles é a seguinte: Tomemos (como o ilustre Sr. Jan Cornets de Groot, grande investigador dos segredos da Natureza e eu próprio fizemos) duas esferas de chumbo, uma dez vezes maior e mais pesada que a outra e deixemo-las cair juntas, de uma altura de 10 metros numa tábua ou em alguma coisa sobre a qual elas produzam um som perceptível. Verificar-se-á então que a mais leve não levará dez vezes mais tempo no seu caminho do que a mais pesada, mas que elas caem praticamente juntas sobre a tábua, a ponto de seus dois sons parecerem uma única pancada seca "

Bibliografia para o professor

COHEN, I.B. **O nascimento de uma nova Física**. Lisboa: Gradiva, 1988.

SCHENBERG, Mário. **Pensando a Física**. São Paulo: Landy Editora, 2001.

GALILEI, G. **Discursos sobre Duas Novas Ciências**. São Paulo: Nova Stella, 1986.

PIRES, Antonio T. S. **Evolução das Ideias da Física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

RIVAL, M. **Os grandes experimentos**. Rio de Janeiro: Editora Jorge Zahar, 1997.

ROCHA, J. F. (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

TAKIMOTO, E. **História da Física na Sala de Aula**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein: a face oculta da invenção científica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.

APÊNDICE B: FALAS TRANSCRITAS DOS ALUNOS

Este é um registro das falas dos estudantes que participaram da execução da proposta didática. As falas são respostas aos questionamentos encontrados no transcorrer da atividade, buscando um maior entendimento do significado da atual pesquisa para o processo de assimilação dos conceitos físicos, do método de fazer ciência, da natureza da ciência etc. Buscou-se ser fiel às falas, redigindo exatamente os diálogos entre estudantes, dentro dos pequenos grupos, diálogo entre estudantes e professor. Devido ao grande número de dados em áudio, aqui se encontra os mais relevantes para análise, com base nas leituras feitas durante o programa de mestrado.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

FALAS TRANSCRITAS DOS ALUNOS

PROFESSOR-PESQUISADOS: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Momento de Aprendizagem – Dasso 1

Data: 04/07/2016

FALAS TRANSCRITAS

- **Quando se fala em ciência ou em conhecimento científico vem na mente “grandes gênios”, como Galileu, Newton, Darwin, Einstein, dentre outros. Mas será que estes “gênios” nada devem aos seus antecessores, estudiosos anônimos, esquecidos na história? Ou será que nossos manuais, injustamente ou propositalmente, fecham os “olhos” para os verdadeiros fatos por traz das descobertas?**

Fala 1. *Devem, pois se eles não tivessem uma base vinda de um conhecimento anterior, eles não poderiam (pausa) não teriam (pausa) é (pausa) como fundar suas teorias.*

Fala 2. *Claro que sim, pois eles foram muito importantes para a ciência que temos hoje (pausa) pois sem eles não teríamos os avanços (pausa) nas (pausa) nas (pausa) pesquisas.*

Fala 3. *Provavelmente, pois eles tiveram tutores, professores e amigos. Mas naquela época da Idade Média era uma época era bastante disputada (pausa) né? Porque todos queria deixar seu nome na história ou ser bem reconhecido futuramente (pausa) Por isso, às vezes, eles deixavam de fazer agradecimentos ou até citações de pessoas que influenciaram diretamente ou indiretamente nessas (pausa) profissão que ele desejou seguir*

- **Você já se perguntou o que é o *movimento*? Será esta sua definição compatível com àquilo que os antigos sábios pensavam? Que tipos de movimento existem? São os mesmos encontrados na filosofia de Aristóteles?**

Fala 4. *O movimento do meu ponto de vista é quando (pausa) um (pausa) corpo (pausa) ele (pausa) se encontra em um estado em que com o passar do tempo (pausa) modifica (pausa) modifica (pausa), aumenta ou diminui a distância em relação a um certo ponto de referência.*

Fala 5. *O movimento é (pausa) quando uma força age sobre um objeto, em repouso, (um outro colega reformula a pergunta) (pausa) Quando você chuta uma bola de futebol (pausa) você tá aplicando uma força naquele objeto (pausa) e com o atrito também com o ar agindo (pausa) é (pausa) e com também o solo (pausa) aquela bola em algum certo tempo ela vai entrar em repouso porque está agindo forças contrárias ao movimento que ela está prosseguindo.*

Fala 6. *Eu acho que é quando um corpo se desloca de um determinado ponto a outro;*

Fala 7. *O movimento, do meu ponto de vista, é (pausa) quando um corpo se encontra num estado (pausa) em que com o passar do tempo (pausa) ele modifica (pausa) é (pausa) aumenta ou diminui a distância em relação a um certo ponto de referência.*

- **Como foi possível a partir da lei da economia “desvencilhar” (separar) a Cinemática da Dinâmica?**

Fala 8. *Para Aristóteles ele estudava o movimento, mas ele estudava de uma forma que ele sempre associava a (pausa) o (pausa) é (pausa) a causa a um propósito. Ele se importava com o que causava o movimento. (pausa) (Outro aluno) (pausa) Já na Idade Média, a (pausa) a (pausa) Cinemática se desvinculava das causas e efeitos e, portanto, saia (pausa) **(não deu mais para ouvir)***

Fala 9. *Essa separação ocorreu (pausa) logo quando (pausa) o William Ockham teve a (pausa) uma (pausa) visão meio diferente da de Aristóteles, quando ele afirma (pausa) (não deu pra ouvir) com seu famoso princípio que ele diz que sobre “as necessidades não devem ser multiplicadas além da necessidade” criando, então, essa lei da economia, (pausa) um tipo (pausa) novo conceito para a Física, onde ele criticou alguns pontos da física de Aristóteles como “tudo que se move é movido por outra coisa”, eliminando as entidades aristotélicas como o “lugar natural”, “corpo pesado” e “corpo leve” e isso contribuiu para a separação entre elas.*

Fala 10. Bem (pausa) eu não sei (pausa) (Outro aluno continua) Como vimos aqui na fala do William (pausa) que ele fala que “as necessidades não devem ser multiplicadas além das necessidades” nós vamos perceber que só vai ser preciso se preocupar com aquilo que vai ser necessário ali no movimento. Nós vemos aqui (pausa) “Num é não?” (pausa) na Cinemática, que é a parte da Física que estuda o movimento sem se preocupar com as causas e efeitos, ou seja, ele só estuda aquilo que é necessário estudar.

Fala 11. Porque ele disse que as leis da natureza devem ser as mais simples possíveis. E que a cinemática dele não precisava de uma força e que o deslocamento, o deslocamento de um corpo não estava associado a uma força, ou seja, se (pausa) uma vez (pausa) o (pausa) o (pausa) o sistema iniciado ele poderia ser eterno (pausa) (Outro aluno complementa) (pausa) Outra coisa também muito interessante é que, como o B. já havia dito, para a lei da economia tudo que tinha que ser bem simples, e já (pausa) Aristóteles pregava que tudo tinha que ser mais (pausa) como é que eu posso dizer (pausa) tudo tinha que ser mais complexo, tipo o mais leve tinha que subir e o mais pesado tem que descer. Então isso é o que separava é (pausa) essas duas teorias. (Outro Aluno) Seria uma cinemática mais simples. (Um terceiro aluno) Foi a partir deste princípio foi que ele começou a descrever o movimento de uma forma mais simplista (pausa) como só um deslocamento do corpo num intervalo de tempo.

Fala 12. Para Aristóteles, ele estudava o movimento, mas ele estudava de uma forma que ele sempre associava o (pausa) é (pausa) a causa (pausa) a um propósito. Ele se importava com o que causava o movimento. Já na Idade Média a (pausa) Cinemática se desvinculava das causas e efeitos e, portanto, saía de (não deu pra entender) (pausa) à Dinâmica.

Fala 13. William Ockham conseguiu separar a Cinemática da Dinâmica porque ele passou a estudar apenas o movimento e não as suas causas. (Outro Aluno) Como diz o seu famoso princípio “as necessidades não devem ser multiplicadas além da necessidade”, então ele passou a buscar apenas o necessário para desvincular a Cinemática da Dinâmica.

- **O Princípio de Relatividade, citado na página 13, teve fundamental importância na Teoria Heliocêntrica de Copérnico, a qual estabelece a possibilidade do Sol está em repouso no centro do Universo. Identifique esta importância.**

Fala 14. *É (pausa) É (pausa) essa teoria relata muito bem sobre (não deu para entender) a diferença de referencial (pausa) porque tendo o Sol como referencial, podemos dizer que ele está parado lá e os outros planetas estão girando em torno dele (pausa) (nada que foi dito no áudio se aproveita...)*

Fala 15. *É que de acordo com o princípio de relatividade a Terra não estaria a deriva no espaço absoluto (pausa) de acordo com o princípio de relatividade ela não poderia ocupar o centro do universo, pois ela estaria se movimentando no espaço, de acordo com algum referencial em questão (pausa) (outro aluno) Então, a partir dessa teoria de relatividade eles viram que a Terra não poderia ocupar o centro do universo, já que o centro não pode está em movimento, ele tem que está estático, dependendo do referencial (pausa) (outros alunos) adotado (pausa) adotado.*

Fala 16. *Segundo Nicolau de Cusa, a Terra não podia ocupar o centro da Universo porque ela estava em movimento. Segundo estudos daquela época, lugar e movimento não eram absolutos, eles iam depender de um observador, ou seja, movimentos relativos, movimentos absolutos e... (nada mais útil para análise).*

- **Que novidades estão explícitas no Teorema da Velocidade Média demonstrado pelos mertonianos?**

Fala 17. *A única novidade que você consegue vê aqui (pausa) é em relação a gráficos e geometria (pausa) que ele consegue explicar a teoria da velocidade geometricamente.*

- **Você já ouviu falar na “Navalha de Ockham”?**

Fala 18. *Não (pausa) Agora (pausa) (Outro aluno) Nem eu também, nunca tinha ouvido. Só ouvi nesse texto aqui que foi disponibilizado.*

Momento de Aprendizagem – Passo 2

Data: 11/07/2016

FALAS TRANSCRITAS

- **A máxima de Aristóteles era “tudo que move é movido”, segundo o texto acima. Isto equivale dizer que para um corpo mover-se é preciso uma ação, uma força, um agente atuando, como no caso de uma carroça sendo puxada por cavalos. Mas um caso bem conhecido de todos é que um objeto ao ser lançado para cima, ele sobe verticalmente e tem sua velocidade reduzida até o ponto mais alto. Mas enquanto ele sobe, quem está impulsionando? Como este fato é explicado dentro da teoria de Aristóteles?**

Fala 19. É porque nesse caso se aplica o movimento violento. Tem uma força impulsionando esse objeto (pausa)

Fala 20. Quando ele está subindo quem impulsiona é o agente (pausa) só que como todos os corpos tendem a voltar a seu lugar natural, quando ele atinge o ponto mais alto a velocidade é reduzida e ele tende a descer até que ele fique na superfície, que é considerado seu lugar natural.

Fala 21. A resistência do ar e a gravidade. Faz com que esse movimento acelere e volte para seu ponto de origem. Às vezes, um agente atuante faz uma força sobre fazendo com que ele suba, até certo ponto. Ele vai conseguir quebrar a resistência do ar e resistir a força da gravidade. Quando chega em seu ponto, ele vai voltar e fazer seu movimento natural, que é o movimento de queda livre. Neste caso é o movimento violento. Uma força que é feita sobre ele, modifica a forma dele se mover, ou seja, é um movimento contrário ao movimento dele.

- **Considere o objeto do item anterior. Há resistência na subida? Quem exerce esse papel? Isto é compatível com a resposta anterior?**

Fala 22. *Por mais que o objeto seja pesado há sim resistência na subida. Quem exerce esse papel é chamado a causa eficiente e (pausa) se isso é compatível com a resposta anterior (pausa) é sim.*

Fala 23. *Sim, há uma resistência na subida e gente poderia entender mais ou menos como (pausa) depois veio a ser entendido como a gravidade. E quem exerce esse papel é o movimento natural, ou seja, se objeto como já foi dito, inúmeras vezes, um objeto sobe ele tende a voltar seu estado natural. E, sim, essa resposta é compatível com a resposta anterior.*

Fala 24. *Não acho que é assim: a força que ele exerceu de baixo pra cima, de quem tá impulsionando é maior. E ela continua agindo, porque se ele reduz ao ponto mais alto é o máximo que ele chega, então ele retorna com a resistência maior. (Outro aluno) Aristóteles chama este impulso que é dado pela pessoa que lança a pedra, de movimento violento, algo que não é natural da pedra. Por isso com o passar do tempo ela volta e cai.*

Fala 25. *A resistência na subida é a resistência do ar e a força da gravidade faz com que ele seja atraído para o centro da Terra. O que ocorre é que se esse objeto for lançado (pausa) se ele tiver (pausa) é (pausa) uma interferência da força da gravidade, o peso dele vai sim interferir na queda dele, na velocidade de queda dele, pois ele vai ser... a gravidade vai exercer uma força maior sobre o objeto, por isso ele vai cair (faltou completar a frase).*

- **A velocidade de queda é para o aristotelismo proporcional ao peso do corpo. Será isso verdade? Identifique um fato a favor e outro contrário a este argumento.**

Fala 26. *Essa afirmativa é verdadeira porque quanto maior o peso de um corpo maior a velocidade, quanto menor mais resistência o ar tem e menor a velocidade, ou seja, são diretamente proporcionais. Um fato a favor é que (pausa) vamos pegar um exemplo de uma bola de papel e uma pedra. Se jogarem elas de um mesmo lugar, a pedra chegará primeiro por conta de seu peso (pausa) e (pausa) Mas se pegar esses dois mesmos objetos e lançar de um prédio a razão dos tempos gastos no movimento não depende da razão*

dos pesos, mas que a diferença de tempo é muito pequena. Não depende so dos pesos deles mas da altura.

Fala 27. *Sim. Mas isso só acontece em locais que há interferência do ar, caso a mesma situação aconteça na Lua, por exemplo, o objeto grande irá cair, o objeto pesado e o objeto leve irão cair ao mesmo tempo ao solo.*

Fala 28. *Não. Na verdade os corpos (pausa) o corpo mais pesado chega primeiro*

- **Como é o movimento natural dos corpos pesados próximo à superfície terrestre? E como é o movimento natural dos corpos celestes? Com base em que Aristóteles dá suas explicações para esses movimentos?**

Fala 29. *Bom, os corpos celestes são perfeitos e não carecem de mudança em sua essência, apenas deslocamentos físicos, mas os corpos que não são celestes, eles quando são soltados de uma altura, eles tem um desejo de retornar ao seu lugar natural e eles tendem a se movimentar para o centro do universo, que neste caso coincidiria com o centro da Terra. Aristóteles explica isso (pausa) que tudo que se move é movido.*

Fala 30. *Como diz Aristóteles, em consideração a isso, existe o movimento natural que (pausa) quando o corpo tende a voltar a seu lugar de origem (pausa) no caso que é o centro.*

Fala 31. *Segundo Aristóteles, os corpos mais pesados eles tendem a ficar num lugar mais abaixo do que os outros. Então se um corpo pesado tá próximo à superfície terrestre, ele é (pausa) deve (pausa) tá em repouso. E o movimento dos corpos celestes (pausa) eles (pausa) eles não se moviam porque, quer dizer (pausa) eles eram considerados perfeitos e não precisavam de mudança. E a explicação para esse movimento tem base na afirmação de que todos os corpos terrestres são formados por terra, água, fogo e ar e celestes por um quinto elemento, que é o éter, que é incorruptível, eterno e imutável. (Outro aluno) Aristóteles ele definiu mais ou menos como os corpos celestes eram tipo*

o (pausa) *caso a parte, os especiais, ou seja, o movimento dos corpos naturais, por assim dizer, eram diferentes dos corpos celestes.*

- **O pensador grego afirmava ser os corpos celestes incorruptíveis, ou seja, eternos, perfeitos, imutáveis em sua essência. Você concorda ou discorda? Discuta com seus colegas e professor a respeito da incorruptibilidade dos céus.**

Fala 32. *Não. Eles não são eternos e estão em constante mudança. Temos exemplo, como uma estrela quando ela morre vira um buraco negro. (Outro aluno) Mas para Aristóteles, os corpos celestes eram formados de uma quintaessência, sem sombras de mudança.*

Fala 33. (Professor) *Beleza. Ele viu uma Lua completamente imperfeita, onde haviam crateras, montanhas, pelo menos ele sugeriu que seriam montanhas, calculou até a altura de algumas montanhas. Então ele viu que Vênus tinha fases, como o próprio texto diz algumas coisas. Ele diz que (pausa) (Aluno) Que haviam quatro satélites ao redor de Júpiter. (Professor) Tem os anéis de Saturno (pausa) (Aluno) As manchas solares. (Professor) Tudo isso indica que o céu não era perfeito. (Aluno) Na minha opinião, eu também discordo, pois a todo momento ocorrem mudanças constantes como, por exemplo, temos os buracos negros e no Sol (porque a todo momento tá produzindo mais calor) (Outro aluno) Ele já sabia que tinha buracos negros? (Aluno) Não, eu tô falando de agora, na minha opinião. (Professor) Teve um astrônomo também, o Tycho Brahe, não sei se vocês já ouviram falar, ele registrou, em escrito mesmo, o surgimento de uma super nova, uma estrela que não existia num determinado local e ele passou a observar, de uma luz bem intensa. Isto pderá vim no outro texto. (Outro aluno) A estrela deixou de existir, mas era só a luz viajando no espaço. (Professor) Até os cometas também demonstram que os céus não eram perfeitos. (Alunos) Discordo, discordo, discordo.*

Fala 34. *Eu discordo, pois os seres celestes não são perfeitos, imutáveis, mas eles podem ser sim corruptíveis (pausa) (Outro aluno) É eles também não são*

eternos, um dia eles morrem, por exemplo, as estrelas morrem, e tal, viram buraco negro, algo assim do tipo.

- **Há algum tipo de movimento que pode ser eterno no aristotelismo? Identifique.**

Fala 35. *Bom (pausa) de acordo com Aristóteles o único corpo (pausa) único movimento eterno na Física é o movimento dos corpos celestes. Só.*

Fala 36. *O movimento no vácuo que (pausa) (Outro aluno) Mas ele acreditava no vácuo? (Aluno) Então ele não tem movimentos eternos no pensamento aristotélico? (Professor) Tem. O movimento dos corpos celestes, já que eles eram perfeitos (pausa) (Aluno) Então podemos considerar que o movimento eterno dos corpos celestes, que eram constituídos por éter, que era um movimento circular, era um movimento circular, era um movimento circular considerados por eles.*

- **A partir da ideia do lugar natural, você consegue identificar se a Terra está em repouso ou em movimento? Discuta no grupo.**

Fala 37. *Porque, assim pra mim, a Terra nunca pode ser um corpo dado em repouso, porque antigamente era assim, agora tudo que (pausa) pra mim, né, a Terra tá em movimento. (Outro aluno) Sempre vai está em movimento do Sol (pausa)*

Fala 38. *Rapaz (pausa) segundo Aristóteles é plausível (pausa) é repouso (pausa) pois ela tende a seu lugar natural, já que ela é um objeto grave ela está na parte mais abaixo. Ela estaria em repouso (pausa) é porque (pausa) Ele acreditava que a Terra era o centro do universo. (Outro aluno) Não (pausa) (Aluno) Não, não era ele não? Então neste caso como ela estava em seu lugar natural, podemos considerar que ela estava em repouso.*

- **Um resultado muito intrigante, até pouco tempo, é que Galileu em sua obra havia dito que um corpo mais leve, no início da queda, avança na frente do mais pesado. Como você justificaria este resultado também encontrado por Girolamo Borro?**

Fala 39. Segundo a leitura, para Galileu o objeto mais leve teria uma resistência menor que o objeto mais pesado (Outro aluno) No início do movimento (Aluno) É (pausa) que ele chegaria mais rápido, mas com o passar do tempo e com a ação da gravidade o mais pesado acabaria chegando primeiro. (Outro aluno) Que (pausa) o próprio Galileu afirmou que o objeto mais pesado teria uma vantagem, ele chegaria alguns instantes mais rápido que o objeto mais leve.

- **Por que a teoria de Aristóteles foi abandonada a ponto de não está mais nos livros didáticos? Comente com seus colegas e professor.**

Fala 40. Bem, o que nós podemos perceber é que a Teoria de Aristóteles ela foi altamente refutada pelos historiadores, ou seja, pelos (pausa) pelos (pausa) pelos (pausa) investigadores. E como nós podemos ver ela foi refutada em todos os seus aspectos. Quando ele falou “a incorruptibilidade dos corpos” celestes foi refutadas por Galileu, quando ele observou com o telescópio o negócio lá na Terra. Acho que foi refutada também a Teoria dele de que ele achava que os corpos dependiam da massa, ou seja, pra cair ... que um caia mais rápido do que o outro. Galileu falou ao contr (não completou) Galileu falou ao contrário (pausa) **nada do que foi dito depois tem valor para pesquisa.**

Fala 41. O primeiro de tudo, o principal, porque Aristóteles, ele não, assim, aplicava as práticas em suas teorias, então a prática (pausa) a teoria é em vão sem a prática. Segundo, Aristóteles estudava uma Terra em repouso e a Terra não é em repouso (pausa) Aí os estudos dele, por hora, até podiam ser considerados certos, mas depois de Galileu Galilei a Terra foi estudada de uma outra forma.

Fala 42. A teoria de Aristóteles foi abandonada devido às inúmeras falhas encontradas nela e Galileu provou o contrário (pausa) que a Teoria de Aristóteles não era correta (pausa)

Fala 43. A teoria de Aristóteles foi refutada pois (pausa) ela (pausa) era baseada, a maior parte dela era baseada em senso comum, nem tudo que (pausa) que ele dizia, nem tudo que a teoria de Aristóteles dizia, falava, era

testado cientificamente, ou seja, comprovado cientificamente. (Outro aluno) Outro motivo para a teoria de Aristóteles ser refutada foi a descoberta de novos instrumentos para análise científica, como o telescópio.

- **Quais descobertas de Galileu, segundo o texto, enfraqueceram a ideia de Cosmo de Aristóteles? Explique e discuta com seus colegas.**

Fala 44. *Existem várias descobertas, mas a que mais enfraqueceu essa ideia foi a do telescópio e com ele, ele conseguiu observar muitas coisas no sistema solar, como a superfície imperfeita da (pausa) Lua (pausa) é (pausa) descobriu que quatro satélites viajavam ao redor de Júpiter, registrou as manchas solares, as fases de Vênus, os anéis de Saturno e seu aspecto oval, além de miríades de estrelas em nossa Galáxia. Esse (pausa) (Outro colega complementa) Outra ideia também que enfraqueceu um pouco mais Aristóteles foi que Galileu Galilei afirmou que os corpos mais leves avançam mais rapidamente no início de movimento de queda e que não permanecem nessa velocidade (pausa) ele vai diminuindo com o tempo até chegar em seu estado natural.*

Fala 45. *Com a descoberta do telescópio de Galileu, a ideia de Aristóteles de um universo Lua-Terra e Lua-corpos celestes, ele invalidou essa afirmação de Aristóteles, já que com a invenção do telescópio ele pode vê que os objetos estão em constante mudança e que o nosso universo é um só, ou seja, nós fazemos parte de um conjunto, de um todo e não dois universos separados. (Outro aluno) E também o telescópio fez com que ele é (pausa) visse (pausa) olhasse (pausa) observasse mais partes do universo, não era um universo tão simples e resumido como o universo que Aristóteles defendia. (Outro aluno) É permitiu que ele (pausa) visse coisas que eles pensavam que não existiam.*

Fala 46. *Galileu é (pausa) ele começou a usar o telescópio, ele começou a apontar para o céu e descobriu várias coisas, ele descobriu crateras na Lua, descobriu montanhas, ele descobriu muitas coisas, os quatro satélites a redor de Júpiter. Muita coisa assim. (Outro aluno) Se as novas descobertas dele*

puderam ser revolucionárias, então a ideia (não consegue concluir o raciocínio) (Outro aluno) Então, é (pausa) com essas descobertas e essas coisas que ele fez, que ele descobriu ele pode provar (pausa) isso é contra o próprio Arstóteles que dizia que a Terra era o centro do universo e colocando agora o Sol como o centro do Universo.

- **Na conclusão de Philoponus há uma *pequena diferença de tempo* na queda dos corpos de diferentes pesos. A quem você como investigador atribui esta *pequena diferença*?**

Fala 47. *Bem (pausa) a pequena diferença é que se tiver dois corpos um mais pesado que o outro, quando os dois atingirem o solo, a diferença entre os tempos em que eles atingirão o solo é quase desprezível, é muito pequena. (Outro aluno) (pausa) Também até porque antigamente o povo pensava assim: há um corpo de massa de 1 kg e outro de massa de 10 kg é (pausa) o (pausa) é (pausa) eles pensavam que o corpo de 10 kg levaria mais tempo (pausa) o corpo de um 1 kg levaria 1s e o corpo de 10 kg levaria 10 s, mas não é bem assim. Se soltasse eles dois a diferença de tempo seria praticamente desprezível, questão de milésimos (pausa)*

Fala 48. *É (pausa) Philoponus não acreditava que essa pequena diferença era do peso, pois a mudança era muito pequena ou às vezes nem acontecia. Então pode ser pela densidade do objeto e não pelo peso. (Outro aluno) Outra coisa também muito interessante é que antes disso eles afirmaram que um corpo de maior peso ao cair, ele chegaria ao chão, ou à superfície, alguns instantes antes do corpo de menor peso, ou seja, o corpo mais leve. O corpo mais grave teria uma vantagem na queda.*

- **Um famoso historiador da Ciência, Alexander Koyré, publicou um livro cujo título era “*Estudos Galilaicos*”. Neste livro ele desenvolveu a ideia de que Galileu não recorrera à experiências como se havia acreditado. Em resumo, ele acha que há uma tendência exagerada a crer que este grande físico descobriu suas**

leis graças à observação e à experimentação cuidadosa, como no caso da queda dos graves na Torre de Pisa. Lendas, afirmou Koyré. As famosas experiências foram, na verdade, marginais e até inúteis ou mesmo imaginárias. E você concorda ou discorda de Koyré? Em outras etapas retornaremos a esta pergunta.

Fala 49. *Eu, particularmente, discordo de Alexandre Koyré porque pra mim as experiências de Galileu, assim, foram praticamente o princípio pra essa Física de hoje.*

Fala 50. *É (pausa) eu discordo dele, pois se Galileu fez uma afirmação baseada em fatos, se são fatos são comprovados, agora dizer que foi imaginação (pausa) não, não foi imaginação, porque se ele comprovou que era certo (pausa) E hoje podemos ver que isso fez uma grande mudança, então não tem como dizer que foi imaginário.*

Fala 51. *Eu discordo, pois se Galileu não tivesse colocado seus planos em prática, ele jamais teria conseguido, inventado o binóculo, a balança hidrostática, o compasso geométrico. E ele nunca teria conseguido fazer o estudo de máquinas simples. (Outro aluno) E (pausa) Galileu, a maioria das suas ideias eram feitas quando ele sentava na mesa com papel e lápis, como diz no texto, ele escrevia, imaginando as teorias dele, só que, além de imaginar, ele ia fazer a experiência para comprovar que as teorias dele tavam certas. Então, eu discordo também. (Terceiro aluno) Eu acredito que (pausa) os testes de Galileu realmente existiram, pois sem um teste real e físico não teria como descobrir tudo isso (pausa) E (pausa) com testes imaginários é claro que ele não poderia ter uma conclusão tão concreta e bem elaborada que ele teve.*

- **Galileu não atribuiu valor a aceleração de queda dos corpos, apenas as devidas proporções entre espaços, velocidades e tempos. Por quê?**

Fala 52. *Nos tempos em que Galileu fazia suas pesquisas é (pausa) a ciência ainda não tinha todos os instrumentos que a gente tem hoje pra medir, pra ter*

uma boa noção de tempo, ou de espaço ou coisa do tipo. Então, ele ia mesmo pelo método da observação. Ele (pausa) não tinha como (pausa) é (pausa) medir de forma precisa os experimentos dele.

Momento de Aprendizagem – Passo 3

Data: 13/07/2016

FALAS TRANSCRITAS

- **Você consegue identificar o que motivou Galileu a propor o experimento do Plano Inclinado? Escreva aqui essa motivação.**

Fala 53. *É que com o plano inclinado facilita a descida da bola no experimento.*

Fala 54. *Bem, ele queria saber se a velocidade e o tempo eram diretamente proporcionais, ou seja, ele estava fazendo estes para a (pausa) chegar a esse resultado. (Outro aluno) Ele também queria eliminar a ideia de que a massa dos corpos interferiam na velocidade deles, no plano inclinado.*

Fala 55. *Era porque ele queria saber se a velocidade e o tempo eram diretamente ou inversamente proporcionais.*

- **Em algum momento o movimento no plano inclinado se assemelha ao movimento de queda vertical? Cite semelhanças e diferenças, caso você consiga identificar.**

Fala 56. *Uma de suas diferença é a trajetória. E na queda vertical a bola não gira diferente do plano inclinado.*

Fala 57. *Sim, pois ambas usavam a gravidade para cair, mas se diferenciam pois a do plano inclinado fica girando e a do vertical cai reto. (Outro aluno) E outra semelhança é que no plano inclinado há atrito na hora da queda, e na queda livre apenas a gravidade e a resistência do ar interferem na (pausa) na (pausa) descida do corpo.*

Fala 58. *No caso é bem diferente um objeto descer na vertical e inclinado. Se ele descer na vertical (pausa) se for no caso uma esfera, ela não vai rolar. E como é na inclinada ela vai rolar.*

- **O método que Galileu usou para medir o tempo das quedas era confiável?**

Fala 59. *Não. A experiência foi realizada várias vezes, pois os resultados sempre variavam.*

Fala 60. *Não, pois se baseava em pulsações, em queda d'água que também variam de acordo com a vazão da água. 3. (Outro aluno) É também outra coisa é (pausa) como já haviam falado antes (pausa) é (pausa) ele disse que (pausa) as medições não ultrapassavam um décimo de pulsação. Então isso não pode ser considerado muito confiável. Talvez até tenha mas é muito difícil. Então, esse método que ele usou é bem improvável e ele foi muito criticado na sociedade da época e até hoje também existem algumas críticas.*

Fala 61. *Não, porque ele usava pulsações e nossas pulsações variam muito, então isso modificaria o tempo.*

- **Galileu não foi capaz medir a velocidade que a bola atingia ao chegar à base do plano, mas ele admitia ser essa velocidade proporcional ao tempo gasto na descida. Por que não era possível a Galileu descobrir essa velocidade?**

Fala 62. *Esta velocidade aumentava constantemente, não sabia quanto aumentava por segundo.*

Fala 63. *Porque Galileu não admitia dividir uma grandeza por outra (pausa) (Outro aluno) Ele só relacionava elas entre si.*

Fala 64. *Ele não podia descobrir essa velocidade porque não tinha o método de medida de tempo exato.*

- **O movimento no plano inclinado era uniformemente acelerado ou aproximadamente uniformemente acelerado? Justifique.**

Fala 65. *Sim, pois a velocidade no plano aumentava constantemente.*

Fala 66. *Ele era aproximadamente uniformemente acelerado.* (Outro aluno) *Na aula prática, a gente fez os experimentos e medimos o tempo que a bola levava para descer em cada parte do percurso e (pausa).* (Terceiro aluno) *Ele era uniformemente acelerado, pois quando ele partia do repouso ele adquiria tempos iguais em momentos iguais de velocidade.*

Fala 67. *É(pausa) aproximadamente uniformemente acelerado.*

- **A causa da aceleração no plano estudado é a inclinação, podemos pensar assim. Imagine um plano horizontal, sem motivos para acelerar ou desacelerar, o que aconteceria a uma bola inicialmente impulsionada neste plano, caso não tivesse atrito?**

Fala 68. *Ela passaria a ter um movimento uniforme, ou seja, o valor da sua velocidade seria constante, até que a bola chegue ao fim do plano.*

Fala 69. *A bola iria se movimentar numa velocidade maior em relação (pausa) Não tendo (pausa) ela irá se movimentar numa velocidade maior. E chegará um ponto que ela vai diminuir a velocidade totalmente por causa da interferência do ar.* (Outro aluno) *Ela continuaria se movimentando infinitamente até que ela encontrasse um outro corpo que pudesse parar e (pausa) e interferir no movimento dela.*

Fala 70. *Ocorreria um movimento retilíneo uniforme, pois o movimento da bola seria infinito.*

- **E se o plano do item anterior fosse ilimitado (infinitamente grande), o que aconteceria com a bola?**

Fala 71. *Se nada alterar, a bola continuaria sua velocidade uniforme, infinitamente, apenas se o plano fosse inclinado era maior ou menor a velocidade.*

Fala 72. *Ele continuaria se movimentando pelo plano infinitamente.*

- **Após finalizar a prática, você concorda que Galileu fez a experiência do plano inclinado?**

Fala 73. *Sim.*

Fala 74. *Sim, pois durante a aula prática todos os procedimentos que nosso grupo fez foi exatamente o que Galileu descreveu em sua obra. (Outro aluno) Eu concordo, pois depois de fazer aquele teste eu pude observar que por mais que os métodos de avaliação de tempo não fossem tão precisos, mas dava pra fazer, tirar uma noção mais ou menos.*

Fala 75. *Sim. Porque ele uniu todas as características de (não deu mais para entender).*

- **Veja e analise abaixo a forma de uma aula convencional de Física, para 1º Ano do Ensino Médio. Identifique as diferenças e julgue qual delas seria mais relevante para sua aprendizagem quanto ao assunto Cinemática.**

Fala 76. *É na prática que podemos observar como o movimento acontece. (Outro aluno) Nas aulas práticas a gente consegue é (pausa) vê como que o movimento acontece e como que as causas interferem nele. (Terceiro Aluno) Pois durante os testes pude observar como a velocidade varia.*

Fala 77. *Era mais relevante para a aprendizagem.*