



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANA ALINE DE MEDEIROS

**ANÁLISE DA HISTORIOGRAFIA DE GALILEU E O
MOVIMENTO DA QUEDA DOS CORPOS NOS LIVROS
DIDÁTICOS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO**

Londrina
2013

ANA ALINE DE MEDEIROS

**ANÁLISE DA HISTORIOGRAFIA DE GALILEU E O MOVIMENTO DA
QUEDA DOS CORPOS NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO
ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Dissertação apresentado ao
Programa de Pós-graduação em Ensino de
Ciências e Educação Matemática da
Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues da Silva

Londrina
2013

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M488a Medeiros, Ana Aline de.
Análise da historiografia de Galileu e o movimento da queda dos corpos nos livros didáticos de física do ensino médio / Ana Aline de Medeiros. – Londrina, 2013.
76 f. : il.

Orientador: Marcos Rodrigues da Silva.
Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2013.
Inclui bibliografia.

1. Galileu, 1564-1642 – Teses. 2. Física (Ensino médio) – Livros didáticos – Teses. 3. Ciência – História – Teses. 4. Ciência – Filosofia – Teses. 5. Ciência – Formação de conceitos – Teses. I. Silva, Marcos Rodrigues da. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 53:37.02

ANA ALINE DE MEDEIROS

**Análise da historiografia de Galileu e o movimento da queda dos
corpos nos livros didáticos de
Física do Ensino Médio**

Trabalho de Dissertação apresentado ao
Programa de Pós-graduação em Ensino de
Ciências e Educação Matemática da
Universidade Estadual de Londrina.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues da Silva
UEL – Londrina -PR

Prof. Dr. Sérgio de Mello Arruda
UEL – Londrina -PR

Prof. Dr. Marcos Alexandre Gomes Nalli
UEL – Londrina -PR

Londrina, 01 de fevereiro de 2013.

Dedico este trabalho aos meus amores, Diego e nosso Raul, Lourenço, Fátima, Ana, Lourena, Caroline, Segundo e Pedrinho.

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos vão para todos aqueles que estiveram comigo nesta empreitada, em especial agradeço ao Diego Marques, meu marido querido, por toda paciência e dedicação neste processo. Agradeço com muito carinho à Linlya, uma amiga incrível e muito querida que sempre esteve disposta a me ajudar mesmo antes de me conhecer pessoalmente e foi quem primeiro “passou os olhos” neste trabalho.

Agradeço à minha família que mesmo por estarem tão longe não me abandonaram nos momentos de decisões mais difíceis, me apoiando e me dando força com palavras de perseverança dia após dia para finalizar este trabalho.

Agradeço ao grupo GQ por todo aprendizado e contribuições para a minha pesquisa. Aos amigos e colegas do Mestrado fica o meu agradecimento por todos os momentos de alegria, parcerias e estudos. Em especial ao Anderson meu irmão de orientação por ter estado à disposição para me ajudar na escrita deste trabalho.

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma com seus ensinamentos e experiência só me acrescentaram, em especial ao professor Sérgio Arruda, Marinez Meneghello e Regina Buriasco por tantos e bons momentos de confraternização. À professora Márcia, o meu agradecimento pois, sempre esteve à disposição nos meus momentos de decisões e por ser um grande exemplo de força e determinação. À minha eterna orientadora e querida amiga Narla Sathler Musse que mesmo tão longe sempre esteve presente virtualmente me incentivando e colaborando com minhas ideias.

Ao meu orientador Marcos Rodrigues agradeço pelas orientações e esclarecimentos de dúvidas, quando sempre me sentia perdida com seus termos filosóficos. Não há quem não se encante pela sua forma de ensinar, de apresentar suas ideias e foi este encanto que me fez criar e desenvolver este trabalho. Agradeço ao prof. Marcos Nelli por suas contribuições para a melhoria desta pesquisa.

À todos o meu muito obrigada!!!

*A esperança nunca desiste.
A fé sempre confia.
O amor nunca falha.*

Aldecílio Garcia

MEDEIROS, A. A. de. **Análise da historiografia de Galileu e o movimento da queda dos corpos nos livros didáticos de Física do Ensino Médio**. 2012. 76 f. Trabalho de Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

Partimos do pressuposto, neste trabalho, de que a História e Filosofia da Ciência (HFC) deve ser um instrumento de análise conceitual bastante útil para o ensino de física. Portanto, nos propomos a investigar se há correspondência na relação entre o Galileu reconstruído historiograficamente a partir dos escritos de Alexandre Koyré e o Galileu apresentado em alguns livros didáticos de física. O nosso objetivo foi interpretar essa relação nos livros didáticos do Ensino Médio aprovados no PNLD/2012. Para isso, elaboramos quatro categorias que nos possibilitaram verificar de modo pontual os aspectos nos quais há e nos quais não há correspondência da referida relação, sendo elas: experiência; experimento mental; uso da matemática; e método científico. Verificamos que pelo menos uma obra didática corresponde à narrativa historiográfica do nosso referencial. No entanto, pressupomos que um dos fatores que faz com que não haja correspondência seja a inexistência de fontes historiográficas como referências nos textos das obras; outro fator que pode ser evidenciado é a elaboração de conceitos e teorias inventadas pelos próprios autores. Verificamos que estes podem ser fatores pelos quais ainda existe dificuldade de programar a proposta de HFC. Acreditamos, portanto, que o estudo de fontes historiográficas aliada aos conteúdos científicos pode contribuir de forma positiva e significativa para a implementação da proposta de HFC no ensino de física.

Palavras-chave: Livro didático. História e Filosofia da Ciência. Galileu Galilei.

MEDEIROS, A. A. de. **Analysys of Galileu's historiography and falling bodies movement in High School textbooks**. 2012. 76 f. Dissertation (Masters in Science Teaching and Maths Education) – State University of Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

We assume in this work that the History and Philosophy of Science (HPS) should be a very useful conceptual analysis tool to teaching physics. Therefore, we propose to investigate if there is a correspondence in the relation between the historiographically reconstructed Galileu through the writings of Alexandre Koyré, and the Galileu presented in some physics textbooks. Our objective was to interpret this relation in high school textbooks approved at the PNLD/2012. In order to do that, we elaborated four categories which allow us to verify, in a timely manner, the aspects that has or doesn't have correspondence of that relation. These aspects are: experience; mental experiment; use of math; and scientific method. We found that at least one didactic literary work corresponds to the historiographical narrative of our referential. However, we presume that one of the factors which cause no correspondence is the inexistence of historiographic sources as reference in the texts of the literary works; another factor that can be shown is the development of concepts and theories created by the authors. We verified that this can be factors which we still have some difficulty to program the SHP proposition. We believe, however, that the study of historiographic sources together with scientific contents can contribute in a positive and significant way to implement the proposition of SHP to the teaching of physics.

Key-words: Textbook. Science History and Philosophy. Galileu Galilei.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demonstração geométrica do movimento uniformemente acelerado sobre um plano inclinado formado por meio de um triângulo ABC.....	32
Figura 2 – Demonstração geométrica do movimento uniformemente acelerado e a relação dupla do tempo no espaço percorrido	34
Figura 3 – Famosa imagem encontrada nos livros didáticos que representa a experiência da queda dos corpos na torre de Pisa feita por Galileu.....	36
Figura 4 – Imagem representativa da experiência da queda dos corpos feita por Galileu na torre de Pisa.....	49
Figura 5 – Imagem que representa a experiência de Galileu em um plano inclinado.....	54
Figura 6 - Representação da experiência em um plano inclinado. Em a) primeira medida: espaço percorrido $1p$; tempo gasto “ t ”; b) segunda medida: espaço percorrido $\frac{\Delta p}{4}$; tempo gasto $\frac{t}{2}$; c) terceira medida: espaço percorrido $\frac{\Delta p}{2}$, tempo gasto $\frac{t}{\sqrt{2}}$	56
Figura 7 - Representação da experiência da queda dos corpos na torre de Pisa feita por Galileu.....	61
Figura 8 - Representação do movimento de queda livre por meio de um diagrama e gráfico que indicam a posição do objeto em função do tempo.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Comparação de aspectos que caracterizam a história mítica e a história que retrata a Natureza da Ciência	23
Quadro 2 –	Lista de livros didáticos aprovados no PNLD/2012 selecionados para análise	40
Quadro 3 –	Representação da relação constante entre o percurso percorrido pela esfera e o quadrado do tempo gasto	56
Quadro 4 –	Equações do Movimento Uniformemente Variado	62
Quadro 5 –	Descrição do movimento de queda em três tempos diferentes.....	66

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 1 - ENSINO, HISTÓRIA E FILOSOFIA	17
1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O LIVRO DIDÁTICO	17
1.2 A IMPORTÂNCIA DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA (HFC) E SUA RELAÇÃO COM OS LIVROS DIDÁTICOS	20
1.3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A CIÊNCIA NORMAL DE KUHN E OS ESCRITOS HISTORIOGRÁFICOS DE KOYRÉ EM RELAÇÃO AOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA	23
CAPÍTULO 2 - RECONSTRUÇÃO HISTORIOGRÁFICA DO MOVIMENTO DE QUEDA CORPOS	27
2.1 O MOVIMENTO NA FÍSICA ARISTOTÉLICA	28
2.2 O MOVIMENTO NA FÍSICA GALILAICA	30
2.3 A LEI DA QUEDA DOS CORPOS	31
2.4 GALILEU E A EXPERIÊNCIA DE QUEDA DOS CORPOS NA TORRE DE PISA	35
CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS E ANÁLISES	39
3.1 LIVRO DE SILVA E BENIGNO.....	40
3.1.1 Descrição da Historiografia de Galileu e o Movimento de Queda dos Corpos Apresentada no Livro de Silva e Benigno	40
3.1.2 Categorias Apresentadas no Livro de Silva e Benigno.....	42
3.1.3 Análise da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda no Livro de Silva e Benigno	43
3.2 LIVRO DE DOCA <i>ET AL.</i> (2010).....	44
3.2.1 Descrição da Historiografia de Galileu e o Movimento de Queda dos Corpos Apresentada no Livro Didático de Doca <i>et al.</i> (2010).....	44
3.2.2 Categorias Presentes no Livro de Doca <i>et al.</i> (2010).....	46
3.2.3 Análise da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda no Livro de Doca <i>et al.</i> (2010)	46
3.3 LIVRO DE SANT'ANNA <i>ET AL.</i> (2010)	47

3.3.1	Descrição da Historiografia de Galileu e o Movimento de Queda dos Corpos Apresentada no Livro Didático de Sant’Anna <i>et al.</i> (2010)	48
3.3.2	Categorias Presentes no Livro de Sant’Anna <i>et al.</i> (2010)	50
3.3.3	Análise da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda no Livro de Sant’Anna <i>et al.</i> (2010)	51
3.4	LIVRO DE OLIVEIRA <i>ET AL.</i> (2010)	52
3.4.1	Descrição da Historiografia de Galileu e o Movimento de Queda dos Corpos no Livro de Oliveira <i>et al.</i> (2010)	52
3.4.2	Categorias Presentes no Livro de Oliveira <i>et al.</i> (2010)	57
3.4.3	Análise da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda no Livro de Oliveira <i>et al.</i> (2010).....	58
3.5	LIVRO DE YAMAMOTO E FUKU.....	59
3.5.1	Descrição da historiografia de Galileu e o movimento de queda dos corpos no livro de Yamamoto e Fuku	59
3.5.2	Categorias presentes no livro de Yamamoto e Fuku	62
3.5.3	Análise da historiografia de Galileu e do movimento de queda no livro de Yamamoto e Fuku.....	63
3.6	LIVRO DE KANTOR <i>ET AL.</i> (2010)	64
3.6.1	Descrição da Historiografia de Galileu e o Movimento de Queda dos Corpos no Livro de Kantor <i>et al.</i> (2010).....	64
3.6.2	Categoria Presentes no Livro de Kantor <i>et al.</i> (2010).....	67
3.6.3	Análise da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda no Livro de Kantor <i>et al.</i> (2010)	67
3.7	DISCUSSÕES GERAIS SOBRE A ANÁLISE	68
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS.....	73

INTRODUÇÃO

Por que inserir História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de física? Um questionamento dessa natureza pode orientar algumas reflexões sobre a constituição do currículo de física no Ensino Médio. Uma possível justificativa para tal inserção pode ser a ideia de que a HFC no ensino de física deveria fornecer aos estudantes elementos de estudo para compreenderem o significado que a ciência possui na construção do mundo contemporâneo. Neste sentido, Macedo e Silva (2010, p.1) argumentam que “[...] as pessoas deveriam possuir conhecimentos científicos básicos que viessem a lhes possibilitar participar ativamente dos processos de tomada de decisão que ocorrem na sociedade e que envolvem aspectos da Ciência e da Tecnologia”.

De acordo com o documento oficial de guia de livros didáticos (BRASIL, 2011), a física escolar deve articular um equilíbrio entre a importância relativa dos conteúdos programáticos, considerando-os no âmbito da estrutura conceitual científica, e a relevância vivencial e social desses conteúdos para os estudantes em formação. Para tanto, seria fundamental que professores e alunos utilizassem materiais didáticos de qualidade; que discutissem a visão de ciência e de alguma forma contribuísse para a superação da visão empírico-indutivista¹; que estivessem disponíveis para subsidiar e enriquecer o desenvolvimento do processo de ensino e de aprendizagem da física escolar. Esse é um ponto enfatizado em algumas referências de ensino de ciências como pode ser visto em Moreira *et al.* (2007); Henrique *et al.* (2010); El Hani (2006).

O tratamento dado à HFC deveria ser integrado ao processo de desenvolvimento dos conceitos físicos, sem mitificação de acontecimentos, descobertas e personagens. Mas o que pode ser observado é que existem alguns equívocos comuns e muitos aspectos ou personagens da história da física estão reduzidos a verbetes biográficos de cientistas.

Com base no que foi mencionado no parágrafo anterior, propomo-nos a investigar alguns aspectos da inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) que aparecem em alguns livros didáticos de física do Ensino Médio. Para isso

¹ Visão da ciência caracterizada pela concepção de que os cientistas obtêm suas teorias a partir da observação, da experimentação e de medidas, como diz El Hani (2006), ligadas à visão empírico-indutivista e ateuca, bem como à visão rígida e algorítmica da prática científica.

analisamos se há correspondência na relação entre o Galileu Galilei² reconstruído historiograficamente a partir dos escritos de Alexandre Koyré³ e o Galileu Galilei apresentado em alguns livros didáticos de física do Ensino Médio.

Alguns historiadores contam que Koyré era platônico e foi como platônico que ele interpretou Galileu. Seus estudos mostram um Galileu que dá ênfase à experiência mental, um Galileu que se interessa em geometrizar e matematizar a natureza e não um cientista que apenas realiza experiências.

De acordo com Chalmers (1993) uma concepção de senso comum da ciência amplamente aceita nos tempos modernos é de que o conhecimento científico é um conhecimento provado, ou seja, as teorias científicas partem da rigorosa obtenção dos dados da experiência resultadas da observação e execução de experimento. Para Chalmers, essa visão se tornou popular durante e após a Revolução Científica do século XVII; segundo ele, os filósofos que constituíam as forças progressivas deste mesmo século eram estimulados pelos sucessos dos grandes experimentadores – dos quais citam Galileu como um dos pioneiros – e começavam a ver cada vez mais a experiência como fonte de conhecimento.

Diante dessa visão de conhecimento científico declaramos que existe o problema de um Galileu da historiografia que é apresentado como empirista, que deriva suas teorias científicas da experiência e, entretanto, existe outro que denominamos o Galileu de Koyré, que é apresentado como um platônico e baseia suas teorias científicas por meio do experimento mental puramente geométrico-matemático.

Nesse sentido, utilizamos os escritos de Alexandre Koyré em nossa pesquisa pelo fato de proporcionar para aqueles que se interessam pela história das ideias e, em especial, a história do pensamento científico, uma reflexão acerca das origens da ciência moderna, da trajetória do pensamento científico no contexto de sua época, analisando em toda sua complexidade de incertezas e fracassos. Assim,

² Galileu Galilei foi personalidade fundamental na revolução científica por desenvolver os estudos sistemáticos do movimento uniformemente acelerado; reformular a lei dos corpos; enunciar o princípio da inércia e o conceito de referencial inercial, ideias precursoras da mecânica newtoniana, e tantos outros feitos científicos.

³ Filósofo francês de origem russa que escreveu sobre História da Ciência, área onde produziu várias obras fundamentais como *Études galiléennes* (1939), *From the closed World to the infinite Universe* (1957), *La Révolution astronomique* (1961) e *Études Newtoniennes* (1964). Muita da sua originalidade veio a apoiar-se na capacidade de basear os seus estudos sobre ciência moderna na história da religião e da metafísica. Koyré centrou seus estudos em Platão, Galileu Galilei e Isaac Newton. Ele influenciou muitos filósofos da ciência europeus e americanos, entre os quais Paul Feyerabend e Thomas Kuhn.

levamos a sério o estudo dos seus escritos, pois nos apresenta uma concepção de HFC interessante e diferente do senso comum, isto é, sua concepção de ciência e de construção do conhecimento científico não se baseava em acúmulo de fatos ou simples contestações.

Desse modo, o nosso problema de pesquisa parte do pressuposto de que a HFC pode ser um instrumento conceitual bastante útil para o ensino de física, uma vez que a HFC é apresentada na maioria dos livros que os professores e alunos utilizam no processo de ensino e aprendizagem. Os objetivos da nossa pesquisa consistem em interpretar essa relação entre o Galileu reconstruído historiograficamente e o Galileu apresentado em alguns livros didáticos de física do Ensino Médio. A partir do resultado, buscou-se inferir sobre as dificuldades de implementação da proposta de HFC no ensino de física. Verificamos de modo pontual os aspectos nos quais há e nos quais não há correspondência. Para isso categorizamos os elementos constituintes desta referida relação, sendo eles: método científico; experiência; experimento mental; e uso da matemática.

A todo o momento falaremos no nosso estudo sobre história e historiografia; para melhores esclarecimentos quanto ao tema adotaremos as definições elaboradas por D'Ambrosio que nos diz: "*História* é o conjunto dos acontecimentos humanos ocorridos no passado, e a *Historiografia* é o conjunto dos registros, interpretações e análises desses acontecimentos" (D'AMBROSIO, 2004, p.166). Assim sendo, utilizamos neste trabalho fontes historiográficas, as quais dizem respeito aos escritos com interpretações e análises dos historiadores, e mais especificamente os historiadores da ciência. A fonte histórica que utilizamos se restringe à obra de Galileu Galilei, *Dois novas Ciências*.

O nosso trabalho está estruturado em quatro capítulos:

No capítulo 1 tecemos algumas considerações sobre o livro didático e o seu papel no ensino brasileiro, estabelecendo um diálogo com a literatura da área da Educação e principalmente do Ensino de Ciências. Abordamos a importância da inserção de HFC no ensino e sua relação com os livros didáticos de ciências, em especial com os de física, embora existam questionamentos negativos em relação a essa inserção. Para esse capítulo, destacamos as contribuições de alguns pesquisadores: Michael Matthews para o ensino de ciências; Thomas Kuhn para o estudo da filosofia da ciência e, mais especificamente, para entendermos o sentido de ciência normal e sua relação com os livros didáticos; e Alexandre Koyré para a

história da ciência, tendo este último nossa maior atenção, pois permeará toda nossa pesquisa. Centraremos a maior parte do nosso trabalho nos livros de *Estudos Galilaicos* e *Estudos de História do Pensamento Científico* de Alexandre Koyré, e a partir deles teremos uma reconstrução historiográfica de Galileu e do problema do movimento de queda dos corpos.

No capítulo 2 apresentamos uma reconstrução historiográfica do movimento de queda; escrevemos sobre o movimento na física aristotélica e o movimento na física galilaica; mostramos o raciocínio físico-matemático de Galileu ao elaborar a lei da queda dos corpos; por fim apresentamos a historiografia de Galileu e a experiência de queda dos corpos na torre de Pisa a partir dos escritos de Koyré.

No capítulo 3 apresentamos a nossa metodologia de pesquisa. A partir dela, analisamos seis livros de física do Ensino Médio aprovados no PNLD/2012. Em nossa análise fizemos a descrição historiográfica de Galileu e o movimento de queda dos corpos de cada livro didático. Posteriormente apresentamos as quatro categorias já mencionadas, que estão presentes no texto de cada obra. Por fim tentamos estabelecer um diálogo entre os dados obtidos e os referenciais teóricos na intenção de verificar se há correspondência na relação entre o Galileu e o movimento da queda dos corpos reconstruídos historiograficamente pelo nosso referencial e o Galileu apresentado dos livros didáticos de física. Essa parte da pesquisa corresponde às nossas discussões sobre a análise.

O nosso trabalho segue uma linha de pesquisa que consiste em explorar as potencialidades das obras didáticas e não fazer julgamentos da qualidade das historiografias presentes nos mesmos. Podemos encontrar essa mesma ideia nos trabalhos de Oliveira (2009); Rosa e Silva (2010); Santos (2006); e Zamberlan (2008). Todos esses trabalhos, assim como a nossa pesquisa de mestrado, focam nas discussões conceituais sobre esse tema e visam problematizar a questão da importância do papel de HFC no ensino de ciências. Esses trabalhos foram produzidos pelo mesmo grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, sob a orientação do Professor Doutor Marcos Rodrigues da Silva, no qual a autora deste trabalho se insere.

CAPÍTULO 1

ENSINO, HISTÓRIA E FILOSOFIA

1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O LIVRO DIDÁTICO

O livro didático pode ser considerado como um dos instrumentos didáticos mais utilizados nas escolas regulares por professores e alunos, porém não é recente a preocupação com sua qualidade (PANARARI-ANTUNES *et al.*, 2009).

A atenção dirigida aos livros didáticos em nível oficial no Brasil inicia-se com a Legislação do Livro Didático, por meio do Decreto-Lei nº 1.006 criado em 30 de dezembro de 1938, que institui a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD), estabelecendo sua primeira política de legislação e controle de produção e circulação do livro didático no País.

Frison *et al.* (2009) comentam que nesse período o livro era considerado uma ferramenta da educação política e ideológica, sendo caracterizado o Estado como censor no uso desse material didático. De acordo com Núñez *et al.* (2009, p.1), os professores faziam as escolhas dos livros a partir de uma lista predeterminada na regulamentação legal (Art. 208, Inciso VII da Constituição Federal do Brasil), em que fica definido que o Livro Didático e o Dicionário da Língua Portuguesa são direitos constitucionais do educando brasileiro.

Em 19 de agosto de 1985 foi implementado o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) que tem como objetivo “subsidiar o trabalho pedagógico dos professores por meio da distribuição de coleções de livros didáticos aos alunos da educação básica” (BRASIL, 2012). O Decreto nº 91.542, art. 2º de 19/8/85, estabelece que os professores procederão a permanentes avaliações dos livros adotados, de modo a aprimorar o processo de seleção (BRASIL, 1985).

O Decreto nº 7.084 de 27 de janeiro de 2010 dispõe sobre os programas de material didático e estabelece no seu artigo 19º, incisos III, IV e V, respectivamente, que a avaliação pedagógica dos livros didáticos no âmbito do PNLD será realizada considerando-se a coerência e adequação da abordagem teórico-metodológica; a correção e atualização de conceitos, informações e procedimentos; adequação e a pertinência das orientações prestadas ao professor (BRASIL, 2010).

Após a avaliação das obras, o Ministério da Educação (MEC) publica o Guia de Livros Didáticos com resenhas das coleções consideradas aprovadas. O guia é encaminhado às escolas, que escolhem, entre os títulos disponíveis, aqueles que melhor atendem ao seu projeto político pedagógico.

No texto de apresentação do Guia de Livros Didáticos de Física, os autores encerram o mesmo com uma questão a respeito da física ensinada nas escolas, “como todas as obras desse conjunto são aprovadas para dar suporte a um componente curricular específico do ensino médio, vale a pena perguntar: E o que constitui a física escolar?” (BRASIL, 2011, p.7).

Para estes autores do Guia, a física escolar deve contemplar conceitos, princípios e leis, modelos e teorias, fenômenos e processos, como também, deve incorporar um tratamento articulado desses elementos entre si e com outras áreas disciplinares, levando em consideração aspectos históricos, tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais (BRASIL, 2011). Eles consideram que desse modo as aprendizagens em física tornam significativas e necessárias aos alunos, pois podem contribuir para que o Ensino Médio seja efetivo na etapa final da formação educacional básica de todo cidadão.

Alguns autores discutem sobre a importância que o livro didático desempenha, como apoio à prática docente nas atividades de sala de aula, e ressaltam que analisar o seu papel promove mudanças em relação ao ensino dos conteúdos nele apresentados (BAGANHA e GARCIA, 2009; CARNEIRO e SANTOS, 2003; FRISON *et al.* 2008; VASCONCELOS e SOUTO, 2009; ROSA e SILVA, 2010).

Baganha e Garcia (2009) dizem que cabe ao professor ter clareza sobre o papel do livro didático na atividade pedagógica e na formação do conhecimento científico, quando da seleção de um material adequado ao contexto escolar, pois o livro didático também interfere na determinação do currículo escolar.

Relacionando o livro didático ao conhecimento científico, Wuo (2002 *apud* BRAGANHA; GARCIA, 2009) afirma que o livro didático pode ser um “[...] mediador entre o saber científico de referência e a matéria disposta para o ensino em sala de aula”, pois considera que este

[...] organiza os dados, ordena as atividades pedagógicas, pode sugerir atividades complementares, apresentar soluções variadas e estimuladoras que favoreçam uma aprendizagem mais criativa, trazendo situações do cotidiano, explicações de fenômenos interessantes, apresentação de tópicos mais avançados, resolução de problemas mais elaborados, etc” (WUO, 2002 *apud* BRAGANHA e GARCIA, 2009, p.3).

Embora tenhamos ciência da importância dos livros didáticos para o ensino escolar como instrumento de trabalho do professor e ferramenta de estudo dos alunos, alguns estudos traduzem ainda desafios em relação a sua elaboração por apresentarem limitações ou deficiências.

Delizoicov *et al.* (2002) discutem que algumas deficiências, no caso dos livros de Ciências, referem-se a equívocos conceituais e metodológicos e que um dos desafios da educação escolar encontra-se na superação das insuficiências do livro didático. Essa preocupação levantada por Delizoicov *et al.* (2002) quanto à estrutura e organização dos livros didáticos é entendida por Bizzo (2002) quanto ao processo de ensino e aprendizagem quando relata que os livros didáticos de ciências trazem uma grande quantidade de informação e exercícios com questões [discursivas] do tipo “o que é” e “defina”.

Já Frison *et al.* (2008) afirmam que o livro didático como instrumento de aprendizagem assume funções diferentes, dependendo das condições, do lugar e do momento em que é produzido e utilizado nas diferentes situações escolares, e que, por ser um objeto de múltiplas facetas, ele é pesquisado enquanto produto cultural, como mercadoria ligada ao mundo editorial, como suporte de conhecimento e de métodos de ensino das diversas disciplinas que compõem o currículo escolar.

Com base nessas discussões acadêmicas sobre os livros didáticos em geral e, mais especificamente de física, centramos o nosso trabalho na investigação da estrutura historiográfica de alguns livros didáticos de Física do Ensino Médio selecionados no PNLD/2012, tomando como foco a historiografia de Galileu Galilei e o movimento da queda dos corpos.

Para isso, no capítulo seguinte, teceremos algumas considerações sobre a importância da HFC e suas contribuições para o ensino de Ciências e mais especificamente para o ensino de Física.

1.2 A IMPORTÂNCIA DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA (HFC) E SUA RELAÇÃO COM OS LIVROS DIDÁTICOS DE CIÊNCIAS

A inserção de HFC no Ensino Médio ocorre por meio dos livros didáticos de Ciências da Natureza, correspondendo às disciplinas científicas de física, química e biologia, o que pode viabilizar um importante papel dos livros didáticos no processo de aprendizagem destas disciplinas.

Os argumentos favoráveis à inclusão da HFC no ensino de ciências e, em especial, na física são apresentados por Matthews (1995) por meio de uma abordagem contextualista, em que a educação científica ocorre em diversos contextos éticos, culturais, políticos, históricos e filosóficos, que contribuem para tornar as aulas de Ciências mais desafiadoras e reflexivas, e “podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, [...] para a superação do ‘mar de significação’ que se diz ter inundado as salas de aula de ciências” (MATTHEWS, 1995, p.166). Esse “mar de significação” indicado por Matthews faz referência às fórmulas e equações que são recitadas sem que muitos alunos cheguem a saber o que significam.

Nessa mesma ideia, Silveira *et al.* (2010) apresentam que, em geral, o ensino da física ainda é caracterizado pelos problemas resolvidos mecanicamente, pela sucessão de fórmulas decoradas sem que haja uma real compreensão dos fenômenos, leis, conceitos e princípios envolvidos.

Nesse sentido, a utilização do conhecimento de HFC no ensino de física pode contribuir para humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses dos estudantes, sejam eles de nível médio ou superior, uma vez que desenvolve nos estudantes um pensamento mais sistêmico, possibilitando a ampliação de novas concepções de ciência e, sobretudo propiciando até mesmo um melhor entendimento da transposição didática, transformando o saber científico em conteúdo curricular. É nesse sentido que Matthews (1995) justifica que a HFC contribui para o ensino porque:

- (1) motiva e atrai os alunos;
 - (2) humaniza a matéria;
 - (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência [...];
 - (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que
 - (6) se opõem a ideologia científicista; e finalmente
 - (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente.
- (MATTHEWS, 1995, p.172-173).

De acordo com Miguel (1993), duas questões podem ser colocadas como contra-argumentação em relação à história como fonte de motivação e atração aos alunos; ele questiona:

Se a história motiva os alunos, o ensino da própria história seria automotivador e, por isto, fonte de interesse constante dos alunos? A motivação do sujeito é atingida com os mesmos meios sempre, independentemente do sujeito? (MIGUEL 1993, p.274).

O autor responde as duas questões afirmando que a história não parece ser automotivadora e o modo de se atingir a motivação não parece ser aplicável a todos. Para Evans (1976, p.7 *apud* MIGUEL, 1993, p.69), encarar esse modo de atingir a motivação como aplicável a todos é uma visão mecanicista centrada no objeto do conhecimento e não no sujeito.

Ainda, ressaltando os argumentos a favor da contribuição da HFC para o ensino, Matthews declara que a HFC pode contribuir também para melhorar a formação de professores, “auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas” (MATTHEWS, 1995, p.165).

Porém, o que pode ser observado é que ainda existem problemas na formação de professores⁴ referente a esse tema, uma vez que os futuros professores da física podem não estar preparados para trabalhar temas que levem

⁴ De acordo com BOAS *et al.* (2011), ao investigar o acervo de artigos publicados entre 1996 e 2009 na revista *Investigações em Ensino de Ciência*, concluiu, ainda que seja reconhecida e destacada a importância de uma formação de professores de ciências que contemple HFC, existem muitos problemas a serem enfrentados, tanto de ordem institucional, quanto junto aos docentes e aos discentes.

em consideração questões filosóficas sobre a natureza e podem construir concepções “deformadas” da ciência, como mostram Gil-Pérez *et al.* (2001) que os futuros docentes apresentam concepções de uma imagem popular da ciência, associada a um suposto método científico, único e infalível.

De acordo com Moreira *et al.* (2007), essas práticas docentes inadequadas dos futuros professores de física acontecem, pois, tanto os cursos de física como os livros didáticos privilegiam uma formação acadêmica com enfoque empirista-indutivista, no qual o conhecimento resulta da generalização indutiva a partir de observação, sem qualquer influência teórica ou subjetiva e dessa forma capaz de assegurar a verdade absoluta às afirmações científicas.

Para alguns autores como Leaderman, Alchin e Matthews, tais problemas estão relacionados à ausência daquilo que eles chamam de concepção de Natureza da Ciência (NdC); várias pesquisas no ensino de ciências têm analisado a importância de uma discussão a respeito dessa concepção.

A definição de NdC pode não ser muito consensual, mas em geral refere-se ao conjunto de saberes epistemológicos desenvolvidos na construção do conhecimento científico que trata de incluir os métodos, objetivos, limitações, influência, crenças e valores intrínsecos a esse processo (LEDERMAN, 1992).

Consideramos o estudo da NdC como sendo fundamental nos currículos de formação de professores ciências, pois desenvolve o conhecimento da HFC e da evolução de conceitos científicos. Baseando-se em Matthews (1995), a NdC promove discussões acerca da mutabilidade da ciência, abre possibilidades de se refletir sobre ciência e pseudociência, relaciona provas científicas com a justificativa da teoria, abrange o contexto ético, político e de organização social da ciência. Portanto, entendemos que o estudo da NdC é de grande importância para a formação do aluno, uma vez que pode levar o mesmo a refletir sobre a organização da ciência, seus processos e desenvolvimentos, suas implicações sociopolíticas e econômicas.

Retomando ao caso da concepção deformada da HFC nos cursos de formação de professores de ciências, Allchin (2003) afirma que o problema não é o déficit da história, mas a preocupação deve ser o tipo de história que é apresentada. Para ele, as histórias populares sobre ciência não passam de mitos científicos que contribuem para distorção da natureza da ciência, uma vez que essas romantizam o

drama das descobertas científicas e a vida dos cientistas em virtude narrar uma boa história.

Nesse sentido, pensamos que os professores não precisam ser especialistas em história para utilizar a HFC em sala de aula, mas precisam estar atentos a algumas necessidades que preservam a NdC. No quadro 1 apresentamos alguns exemplos de narrativas com mitos científicos e narrativas de acordo com a NdC baseados na arquitetura dos mitos científicos de Allchin (2003).

Quadro 1 - Comparação de aspectos que caracterizam a história mítica e a história que retrata a NdC

Narrativas com mitos científicos	Narrativas que preservam a NdC
Ciência pronta, acabada	Ciência sendo construída
Genialidade exacerbada	Senso de oportunidade
Retrospecto, romantismo	Respeito pelo contexto histórico
Caricaturas	Contingência, controvérsia
Resultados esperados	Erros explicados

Fonte: adaptado de Allchin (2003, p.347)

Uma das razões que pode contribuir para a falta da apresentação da NdC em livros didáticos de ciências, em especial de física, consiste no fato de que nestes estão contidas narrativas, muitas vezes *estóricas*⁵, com ilustrações sobre a vida de cientistas, seus respectivos experimentos e descobertas que contribuíram para o desenvolvimento do assunto estudado e muitos deles só aparecem no final do capítulo dos livros didáticos, como um complemento ao assunto estudado.

1.3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A CIÊNCIA NORMAL DE KUHN E OS ESCRITOS HISTORIOGRÁFICOS DE KOYRÉ EM RELAÇÃO AOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA

Os escritos de Kuhn e Koyré nos permitiram estruturar categorias que dão norte à análise da nossa pesquisa. Assim, quatro categorias tornaram-se visíveis para nós a partir do estudo historiográfico que fizemos, de modo que Kuhn (1998) e Koyré (1982; 1986) possibilitaram tal identificação. A partir delas,

⁵ Narrativas estóricas são narrativas em prosa ou verso, fictícia ou não, com o objetivo de divertir e/ou instruir o ouvinte ou o leitor.

analisamos livros didáticos, na tentativa de identificar quais são levadas em conta na descrição historiográfica em questão neste trabalho. Ressaltamos que elas não são mutuamente excludentes e não há, necessariamente, a presença de todas nos livros analisados.

Em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn nos apresenta uma orientação para entender a História da Ciência, nos ensinando a olhar a teoria e a prática científica sob um novo ponto de vista. Segundo ele, os livros didáticos que os estudantes utilizam para aprender o seu ofício têm o objetivo de persuadi-los e ensiná-los para a prática da ciência normal, bem como ensiná-los sobre ela.

De acordo com Kuhn, a ciência normal é a atividade que a maioria dos cientistas emprega boa parte de seu tempo. Baseia-se no pressuposto de que “a comunidade científica sabe como é o mundo” (KUHN, 1998, p.24) e significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Essas realizações são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade científica específica como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior (*ibidem*, p.29), ou seja, é um período (temporal histórico) no qual a pesquisa se desenvolve de modo convergente.

O conceito de paradigma, por sua vez, está estritamente relacionado ao conceito de ciência normal, pois é entendido como sendo justamente essas realizações, que incluindo ao mesmo tempo teoria, lei, aplicação e instrumentação, proporciona “modelos dos quais brotam as tradições coerentes e específicas da pesquisa científica” (KUHN, 2009, p.30), fornecendo problemas e soluções para a prática científica.

No período de ciência normal, a atividade científica busca atualizar a promessa do paradigma, ampliando os conhecimentos dos fatos considerados relevantes pelo paradigma, aumentando a correlação entre esses fatos e as predições teóricas, de modo a tornar o paradigma cada vez mais articulado.

Compreendendo a ciência normal por meio de Kuhn, duas de nossas categorias de análise podem então serem entendidas como uma parte da atividade que um cientista desempenha ao praticar a ciência normal.

A primeira delas consiste no *método científico*, que segundo Kuhn estabelece uma espécie de comportamento padrão a ser utilizado pelos cientistas. De acordo com Kuhn (2008, p.67), a investigação histórica de determinada especificidade revela um conjunto de ilustrações recorrentes e padronizadas de

diferentes teorias nas suas aplicações conceituais, instrumentais e na observação. Nesse mesmo sentido, Kuhn (1998) indica que essa visão está presente em muitos livros que apresentam historiografias e que “o conteúdo da ciência é exemplificado de maneira ímpar pelas observações, leis e teorias descritas em suas páginas” (KUHN, 1998, p.20).

A segunda categoria consiste na *experiência*. Para Kuhn, as experiências e observações são classes de fatos constituídas da investigação científica. A primeira classe de fatos consiste na resolução de problemas; a segunda diz respeito aos fenômenos que podem ser diretamente comparados com as previsões do paradigma, segundo Kuhn (1998, p.47) “quando passamos dos problemas experimentais aos problemas teóricos da ciência normal”; a terceira classe mostra que a experiência consiste no trabalho empírico empreendido para articular a teoria do paradigma [...] (KUHN, 1998, p.48). Para Kuhn, esta classe revela-se a mais importante de todas e ressalta que nas ciências matemáticas algumas das experiências que visam à articulação do paradigma são orientadas para a determinação de constantes físicas. Contudo, Kuhn nos mostra que a experiência só tem significado científico quando articulada a um paradigma e, de acordo com ele, as experiências são necessárias para permitir uma escolha entre modos alternativos de aplicação do paradigma à nova área de interesse.

O que aqui estamos vendo com Kuhn possui contrapartida nos escritos historiográficos de Koyré. Por exemplo, a categoria *experiência mental* surgiu neste trabalho a partir dos escritos de Koyré em *Estudos de história do pensamento científico* (1982), quando o autor menciona que Galileu não era empírico e, sim, um platônico, que realizava experiências imaginárias. Para justificar essa argumentação, apresentamos a historiografia da experiência da torre de Pisa, que Koyré considera uma experiência sem fundamento físico, e, sobretudo, pelo fato de Galileu não ter mérito suficiente para realizar uma experiência de tamanha relevância científica, uma vez que todo estudo da natureza do movimento na época estava baseado nas ideias aristotélicas.

A categoria *uso da matemática* foi criada a partir dos escritos de Koyré em *Estudos galilaicos* (1986), quando ele apresenta a historiografia do movimento de queda segundo Galileu em *Duas novas ciências* (1988). Para Koyré

(1986), o pensamento mental de Galileu é físico-matemático, isto é, parte da ideia preconcebida de que as leis da natureza são leis matemáticas.

Essas categorias são elementos importantes da ciência normal e, por isso, estão presentes em livros didáticos – como mostraremos adiante. Os estudantes que podem se tornar futuros cientistas têm, assim, presentes em sua concepção de ciência esses elementos. Vale aqui mostrar o caso de Kuhn (1998), que antes de trabalhar com a história e a filosofia da ciência era um cientista físico de ofício: um envolvimento afortunado com um curso experimental da universidade, que apresentava a ciência física para os não cientistas, proporcionou-lhe a primeira exposição à História da Ciência. Ele diz que para sua surpresa, essa exposição a teorias e práticas científicas antiquadas minou radicalmente algumas das suas concepções básicas a respeito da natureza da ciência e das razões de seu sucesso incomum.

No próximo capítulo as categorias aqui mencionadas ficarão mais evidentes a partir da historiografia de Galileu e do movimento de queda apresentados por Alexandre Koyré.

CAPÍTULO 2

RECONSTRUÇÃO HISTORIOGRÁFICA DO MOVIMENTO DE QUEDA

A história da elaboração das leis do movimento é paradigmática, como comenta Porto e Porto (2010), pois hoje as leis básicas do movimento parecem conceitos triviais devido ao pensamento surgido com a ciência moderna, entretanto, as concepções prévias antes deste sistema, revela a complexidade de articulação cognitiva envolvida na substituição de um senso comum pelo conhecimento científico.

Nesse sentido, Koyré (1973) declara que as leis do movimento, que hoje são ensinadas e compreendidas pelas crianças, exigiu um esforço tão considerável, os cientistas da ciência moderna, não tinham de estabelecer essas leis simples e evidentes, mas criar o próprio contexto que tornaria possíveis essas descobertas, para isso tiveram que “reformular o próprio intelecto; fornecer-lhe uma série de novos conceitos; elaborar uma nova ideia de natureza, uma nova concepção de ciência, vale dizer, uma nova filosofia” (Koyré, 1973, p.183).

Nesta seção daremos um enfoque na física aristotélica e galilaica no que diz respeito às suas noções de movimento. De acordo com Koyré (1986), a Física galilaica compreende a Física dos corpos graves, o movimento dos corpos que caem. Esse movimento de queda é concebido por Galileu como um movimento natural, mas esse termo não tem o mesmo sentido que tinha para Aristóteles⁶. A diferença é que para Galileu o movimento é comum a todos os corpos, enquanto Aristóteles distinguia os movimentos pela diferença de natureza dos corpos. Os termos aristotélicos de movimento natural e violento não têm sentido teórico para Galileu, a não ser a distinção do senso comum entre os movimentos que se fazem por si mesmo como a queda, o movimento para baixo e os movimentos que um corpo só pode executar em virtude de uma ação exterior como arremesso ou o movimento para cima.

⁶ Aristóteles foi um filósofo grego cuja grandeza consiste em querer explicar os fatos naturais: “[Foi] um atento observador da natureza. As suas constatações sobre o que via ocorrer na Terra e no firmamento levaram-no a fazer afirmações sobre a natureza das coisas e a formular um modelo do universo” (PEDUZZI, 1996, p.50).

2.1 O MOVIMENTO NA FÍSICA ARISTOTÉLICA

De acordo com Koyré (1982, p.185), a física de Aristóteles é uma teoria científica altamente elaborada e perfeitamente coerente, “que não só possui uma base filosófica muito profunda como está de acordo muito mais do que a de Galileu com o senso comum e a experiência quotidiana”. A física aristotélica baseia-se na percepção sensível e por isso é essencialmente não matemática, pois se recusa a substituir por uma abstração geométrica os fatos qualitativamente determinados pela experiência sensível e pelo senso comum.

A física aristotélica é traduzida pela distinção dos movimentos em naturais e violentos, que se enquadra em uma concepção geral de crença na existência de naturezas bem determinadas e a crença na existência de princípios de natureza ordenada. Na dinâmica aristotélica qualquer corpo é concebido como possuindo uma tendência para se encontrar no seu lugar natural.

De acordo com Peduzzi (1996, p.50) “toda e qualquer mudança para Aristóteles, resulta de um propósito intrínseco ou pré-determinado que as coisas têm para se comportar da maneira como se comportam”, por exemplo, uma pedra cai porque há nela um estado predeterminado, em dirigir-se para o centro do universo que é o seu lugar natural.

Como ressalta Peduzzi (1996), a concepção de movimento natural para Aristóteles é parte fundamental da sua cosmologia, isto é, de como imaginava estar constituída a matéria, em que os elementos terra, água, ar e fogo possuíam lugares definidos no universo físico.

Para Aristóteles, segundo Peduzzi (1996, p.52), o lugar natural da terra e da água (por serem pesados) é embaixo, assim eles tendem a se mover para baixo; o lugar natural do fogo e do ar (por serem mais leves) é para cima, por isso, eles tendem a se mover para cima. Assim, são naturais os movimentos de corpos terrestres em linha reta; os corpos pesados descem, enquanto que os mais leves sobem.

De acordo com Koyré (1986) e Peduzzi (1996), as noções de movimento natural e de lugar natural na cosmologia aristotélica implicam a finitude dos movimentos ou finitude do universo. Em outras palavras, na dinâmica aristotélica todo movimento é limitado e finito.

Além dos movimentos naturais, existem os movimentos violentos. Estes Aristóteles conclui que só são possíveis quando há uma desordem cósmica, ou seja, uma ruptura de equilíbrio causada pela aplicação de uma força⁷ exterior traduzida como violência.

Para que o movimento persista é exigida a ação contínua de um motor ou de uma causa; e ele cessa uma vez que essa ação deixe de ser exercida sobre o corpo em movimento, isto é, desde que o corpo em questão seja separado do seu motor. Em outras palavras, quando deixamos de empurrar um objeto, ele para; quando um cavalo deixa de puxar uma carroça, cessa o movimento. O que se move e o que se movimenta para Aristóteles devem estar em permanente contato (PEDUZZI, 1996).

Em relação ao meio, as discussões da dinâmica aristotélica sempre eram orientadas para o estudo de situações observáveis e nunca abstratas, por exemplo, Aristóteles negava o vazio e o movimento no vazio, por isso se detinha na questão da influência de meios como o ar e a água no movimento dos corpos. De acordo com Peduzzi (1996, p.55), “Aristóteles não concebia a existência de um movimento no vazio porque, segundo ele, sem haver uma resistência ao movimento de um objeto este teria velocidade infinita”.

Para Aristóteles, o vazio não é compatível com a ideia de ordem cósmica, não há lugares naturais, nem há lugares, portanto, não existe movimento nem processo⁸, o vazio é nada. Quanto ao movimento violento, no vazio equivaleria a um movimento sem motor.

Embora Aristóteles não tenha elaborado nenhuma descrição matemática para demonstrar suas conclusões sobre o movimento, Peduzzi (1996) apresenta um exemplo didático da “lei de movimento” de Aristóteles através da relação

$$v \propto \frac{F}{R}$$

⁷ É importante esclarecer que Aristóteles não tinha essa definição de força no sentido como se tem hoje, ou seja, ele se referenciava em motor ou em causa do movimento.

⁸ O movimento na física aristotélica é um processo. E esse movimento-processo, designa tudo aquilo que muda e que só é enquanto se modifica.

em que v representa a velocidade de um corpo, F representa a intensidade da força aplicada ao corpo e R a resistência do meio. Essa relação implica dizer que a velocidade de um corpo é diretamente proporcional à força (motriz) a ele aplicada e inversamente proporcional à resistência do meio no qual ele se movimenta.

2.2 O Movimento na Física Galilaica

Desde os seus primeiros trabalhos, em Pisa, Galileu dirigiu o seu esforço para matematizar a física (KOYRÉ, 1986). Um exemplo disso é a aceitação do movimento no vazio; diferente de Aristóteles, Galileu aceitava a ideia do movimento no vazio geométrico. Esse esforço consiste em um processo para geometrizar e matematizar as leis da natureza.

O movimento na física galilaica de acordo com Koyré (1986) nunca divulga nem manifesta a natureza do móvel. Em outras palavras, o movimento não afeta ou não produz qualquer modificação no corpo, estando ele em movimento ou em repouso, é sempre idêntico a si mesmo. Isso nos leva a refletir que nesse caso, um corpo se encontra em movimento apenas em relação a outro corpo que supostamente estará em repouso. A essa suposição Galileu atribuiu a ideia de que todo movimento é relativo.

Para Galileu, segundo Koyré (1986), a única propriedade natural dos corpos é a gravidade, ou o peso, o que explica o fato do movimento de queda como uma fonte natural do movimento que produz em todos os corpos um movimento natural para baixo. Porém, o que chama atenção é que o próprio Galileu de fato se recusa a ver na gravidade uma qualidade natural dos corpos; e se recusava a ver uma fonte ou uma causa do movimento para baixo, porque ele não sabia o que era ela.

Koyré (1986) ressalta que o peso ou a gravidade não é em Galileu uma propriedade teórica dos corpos, pois é uma propriedade empírica; uma qualidade do senso comum. Para Galileu, os corpos caem para baixo, isto é uma experiência coerente, mas não é tudo, pois a causa desse movimento (externa ou interna) é desconhecida, ou seja, dizer peso, gravidade, tendência para baixo, ou tendência para o centro, é designar um fato e não explicá-lo.

A discussão sobre essa visão de movimento dos corpos graves é escrita na forma de diálogo na sua última obra, intitulada: *Discorsi e Dimostrazioni*

Matematiche intorno a Due Nuove Scienze (“Discursos e Demonstrações Matemáticas acerca de Duas Novas Ciências”, ou, simplesmente em português: “Duas Novas Ciências”). Essa obra é também conhecida no meio científico como *Discorsi* (“Os Discursos”; GALILEI, 1988) e tem profundas implicações para a física e as engenharias (PENNEREIRO, 2010).

De acordo com Koyré (1986), na física galilaica, a gravidade aparece como estando ligada a uma fonte de movimento, sendo uma proposição bem mais fácil de admitir porque se conhece o fato – a queda. Em nota, Koyré declara que Galileu sabe de fato que a gravidade é uma força da mesma natureza que a atração magnética, mas não sabe o que é força magnética e as suas próprias investigações, registradas nos *Discorsi e Dimostrazioni*, não lhe permitiram fundamentar uma verdadeira teoria, isto é, uma doutrina matemática do magnetismo.

Para Galileu, de acordo com Koyré (1986), a gravidade condiciona e explica o fato de que o movimento de queda é um movimento natural de qualquer corpo. No caso do movimento de queda, cinematicamente, este possui particularidades diferentes dos outros, pois é um movimento constante e continua acelerado, ou seja, um movimento que se realiza onde quer que um corpo caia em queda livre ou desça por um plano inclinado. Em suma, seja qual for o corpo que caia, o seu peso ou sua constituição física, cairá sempre com a mesma velocidade.

Para concluir esta ideia do pouco que foi apresentado sobre a noção do movimento galilaico, Koyré (1986) diz que compreende-se a tentativa de Galileu de desenvolver a sua dinâmica como uma dinâmica da queda, quando se pensa nomeadamente no fato de que quaisquer corpos caírem todos segundo a mesma lei e com a mesma velocidade. A velocidade de queda de um corpo é, portanto, rigorosamente proporcional ao seu peso e de um valor constante.

2.3 A LEI DA QUEDA DOS CORPOS

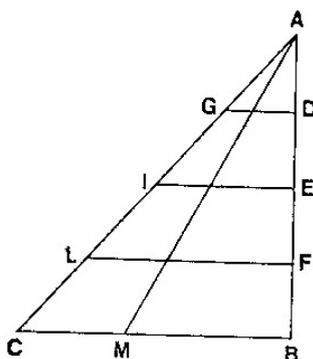
De acordo com Koyré (1986), o fenômeno da queda foi desde sempre um assunto de meditação para a física e foi formulada por Galileu em 1604, considerada como a lei fundamental da dinâmica moderna. Em sua definição, temos que a queda dos corpos é um movimento uniformemente acelerado. A relação entre a duração da queda, a velocidade e o caminho percorrido foi apresentada por

Galileu em duas formas diferentes. A demonstração no *Diálogo* fundamenta-se na continuidade da aceleração e põe em jogo as noções de velocidade instantânea, de momento e de soma de velocidades que se define com o espaço percorrido.

Galileu nos diz no *Diálogo*, “no movimento acelerado, o crescimento de velocidade é contínuo e [...] os graus de velocidade, mudando a cada momento, [...] são infinitos”.

Para exemplificar melhor a sua teoria, Galileu elaborou uma demonstração geométrica traçando um triângulo ABC sobre um plano inclinado – como pode ser visto na figura 1 – marcando no lado AC partes iguais como AD, DE, FG e passando pelos pontos D, E, F, G linhas retas paralelas à base BC.

Figura 1 - Demonstração geométrica do movimento uniformemente acelerado sobre um plano inclinado formado por meio de um triângulo abc



Fonte: Galilei (1987)

Em seguida, Galileu sugere que se imagine que as partes da linha AC são tempos iguais; que as paralelas tiradas dos pontos D, E, F, G representam os graus de velocidade acelerados e crescendo igualmente em tempos iguais, e que o ponto A seja o estado de repouso, de onde parte o móvel que terá, no tempo AD, adquirido o grau de velocidade DH; que depois crescerá até EI e se tornará maior nos tempos sucessivos segundo o crescimento das linhas FK, GL etc.

Para representar a infinidade dos graus de velocidade que precedem o grau DH, é preciso imaginar uma infinidade de linhas, cada vez menores, tiradas dos infinitos de DA, paralelamente à linha DH que representará a superfície do triângulo ADH. E assim é representado qualquer espaço vencido pelo móvel

animado de um movimento que, começando no repouso e acelerando-se uniformemente, terá consumido e ter-se-á a servido de uma infinidade de graus de velocidade crescente, conformes às linhas infinitas que, começando no ponto A, são supostamente tiradas paralelamente à linha HD e às linhas IE, KF, LG, BC; e o movimento poderá continuar assim tanto quanto se queira.

Diante do exposto, verificamos que se completa o paralelogramo AMBC e este é prolongado até o seu lado BM, não só as paralelas traçadas no triângulo, mas a infinidade das que se imaginam traçadas de todos os pontos do lado AC. Assim, tal como a linha BC será maior das linhas infinitas do triângulo, representando o maior grau da velocidade adquirido pelo móvel no movimento acelerado e toda a superfície do triângulo será a massa e a soma de todas as velocidades com as quais no tempo AC ele vencerá um tal espaço; assim o paralelogramo representará uma massa e um agregado de outros tantos graus de velocidade, mas sendo cada um igual à velocidade máxima BC; e esta massa de velocidade será o dobro da massa das velocidades crescentes do triângulo⁹.

De acordo com Koyré, a experiência que Galileu institui é maravilhosamente imaginária; a ideia de substituir a queda livre pela queda sobre um plano inclinado é, verdadeiramente, uma marca de gênio, mas há que nos darmos conta disso, pois a execução não está à altura da ideia.

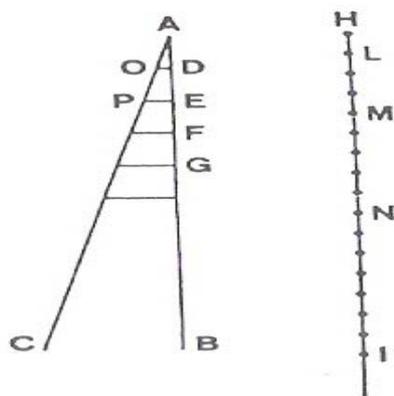
No *Discurso (Duas novas Ciências)*¹⁰, a demonstração idealizada por Galileu não é exatamente a mesma do *Diálogo*, mas é facilmente possível se ver as mesmas grandezas como momento, velocidade instantânea, soma de momentos e velocidades. O movimento já não é mais subdividido em fragmentos, mas sim em blocos. E assim para o cálculo do espaço percorrido, a soma das velocidades ou momentos, surge como sendo diretamente igual à do movimento uniforme cuja velocidade é metade da velocidade máxima atingida pelo movimento acelerado.

De acordo com Koyré (1986), o que faltava na demonstração galilaica do *Diálogo* era mostrar a afinidade suprema do movimento e do tempo, ou seja, o papel preponderante do tempo. Para tanto nos *Discurso*, Galileu acrescenta:

⁹ Os pontos HK não foram encontrados na obra original de Galileu *Duas Novas Ciências*.

¹⁰ “Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno a Due Nuove Scienze” (*Discurso e Demonstrações Matemáticas em torno de Duas Novas Ciências*), publicada em 1638.

Figura 2 - Demonstração geométrica do movimento uniformemente acelerado e a relação dupla do tempo no espaço percorrido



Fonte: Galilei (1987)

Se um móvel descer do repouso com um movimento uniformemente acelerado, os espaços por ele percorridos em quaisquer tempos estarão entre si na relação dupla do tempo, isto é como os quadrados dos tempos (KOYRÉ, 1986, p.188).

Galileu elaborou outra demonstração geométrica, a qual se vê na figura 2 e que nos permite entender melhor essa relação dupla do tempo:

Nessa representação geométrica, Galileu demonstra que o tempo tem início no instante A por meio da linha reta AB, na qual tomamos dois intervalos quaisquer de tempo AD e AE. Seja HI a linha segundo a qual o móvel, partindo do repouso em H, cairá com um movimento uniformemente acelerado; seja HL o espaço percorrido durante o primeiro intervalo de tempo AE. Galileu afirma que o espaço MH está para o espaço HL numa proporção dupla daquela que o tempo EA tem para o tempo AD; e também pode afirmar que os espaços HM e HL têm a mesma proporção que os quadrados de EA e de AD. Se traçarmos a linha AC que forma o ângulo qualquer com a linha AB; e a partir dos pontos D e E traçarmos as linhas paralelas DO e EP; se DO representa o grau máximo de velocidade adquirido no instante D do intervalo de tempo AD, PE representará, por definição, a velocidade máxima obtida no intervalo de tempo AE.

De acordo com Galileu, podemos perceber que os espaços percorridos são os mesmos, se um móvel, partindo do repouso, se move com um movimento uniformemente acelerado e se durante um intervalo de tempo igual ele se move com um movimento uniforme, cuja velocidade é a metade da velocidade

máxima adquirida durante o movimento acelerado. Segue-se então que as distâncias MH e LH são idênticas às que seriam percorridas nos intervalos de tempo AE e DA por movimentos uniformes, cujas velocidades seriam iguais à metade daquelas representadas por DO e EP.

Galileu demonstrou em *Discursos* que os espaços por dois corpos com movimento uniforme estão entre si numa proporção que é igual ao produto da proporção dos tempos. Consequentemente, a proporção entre os espaços percorridos é a mesma que o quadrado da proporção entre os tempos. De acordo com Galileu, fica, portanto, claro que a proporção entre as distâncias é igual ao quadrado da proporção entre as velocidades máximas, a saber, entre linhas PE e OD, posto que PE esteja para OD assim como EA está para DA.

Com esse raciocínio geométrico, Galileu provou que o movimento é um fenômeno real que se produz no tempo, passa-se no tempo, portanto, o movimento antes de tudo é um fenômeno temporal.

Podemos observar que o aparato matemático idealizado por Galileu são experimentações construídas a partir de uma teoria, e cujo papel é confirmar que a lei da queda dos corpos é uma lei abstrata; uma lei que não se podia realizar na experiência cotidiana do homem. Com efeito, ela só era válida no vazio, pois abstraía a resistência do ar.

Para Koyré (1986), o pensamento mental de Galileu não é puramente matemático, é físico-matemático, pois ele não avançava hipóteses sobre os modos possíveis do movimento acelerado, o que ele procurava é o modo real, o modo de que a natureza faz uso, isto é, parte da ideia preconcebida de que as leis da natureza são leis matemáticas.

2.4 GALILEU E A EXPERIÊNCIA DE QUEDA DOS CORPOS NA TORRE DE PISA

Nesta seção apresentaremos o Galileu sob a visão de Alexandre Koyré, que na década de 30 desabou sobre as leituras empiristas de Galileu quando anunciou que Galileu era, na verdade, um platônico (MATTHEWS, 1995).

O título desta seção faz referência ao artigo escrito por Koyré na obra *Estudos de História do Pensamento Científico*¹¹. Neste ele relata que as experiências de Pisa são muito conhecidas e vêm sendo contadas repetidamente por quase todos os historiadores e biógrafos de Galileu a partir da obra *Racconto storico della vita di Galilei*, do historiador Vincenzo Viviani, estando assim o nome de Galileu “indissolúvelmente associado à imagem da torre de Pisa” (KOYRÉ, 1982, p.197), como mostra a figura 3 encontrada nos livros didáticos de Física.

Figura 3 - Famosa imagem encontrada nos livros didáticos que representa a experiência da queda dos corpos na torre de pisa feita por galileu



Fonte: <http://profs.ccems.pt/PauloPortugal>

Para Koyré, os historiadores de Galileu e os historiadores da ciência em geral atribuem à experiência de Pisa uma grande importância, pois veem nela o momento que Galileu se pronuncia abertamente contra o aristotelismo e anuncia seu ataque público contra a escolástica.

Em seu artigo, Koyré (1982, p.197) apresenta alguns exemplos de trabalhos de historiadores sucessores de Viviani, os quais relatam o mesmo episódio da experiência de Pisa, entre eles, o italiano Ângelo de Gubernatis que diz em sua obra *Galileu Galilei* em 1909:

[...] é em Pisa que Galileu começaria sua campanha científica contra Aristóteles, para grande indignação de seus colegas da Academia [...], resolveu fazer publicamente experiências sobre a queda e a descida dos corpos graves, repetidas vezes, na presença dos professores e dos estudantes pisanos, no campanário de Pisa.

¹¹ Os artigos e ensaios reunidos neste volume esclarecem diversos aspectos de uma questão de interesse fundamental, a cujo estudo Alexandre Koyré dedicou o essencial de seu trabalho de historiador do pensamento científico, isto é, a gênese dos grandes princípios da ciência moderna.

Adiante Koyré (1982, p.198) reproduz o relato do historiador inglês J. J. Fahie que escreve em sua obra *Galileo, his Life and Work* em 1903:

[...] Galileu, entretanto, apelava agora da autoridade de Aristóteles em favor de seus próprios sentidos, pretendia que, salvo uma diferença insignificante, devida à desaprovação da resistência do ar, os pesos caíam ao mesmo tempo. Os aristotélicos ridicularizaram essa idéia e se recusaram a ouvi-lo. [...] Assim numa manhã diante da Universidade reunida – professores e estudantes –, subiu na torre inclinada, levando consigo uma bola de dez libras e outra de uma libra. Colocou-as na borda da torre e as soltou juntas. Elas caíram juntas e juntas atingiram o solo.

Outro historiador chamado E. Namer, segundo Koyré (1982, p.198), faz “um magnífico, colorido e vivo relato da experiência de Pisa”, em sua obra *Searcher of the Heavens* em 1931:

[...] Galileu subiu os degraus da torre inclinada, calmo e tranqüilo, a despeito dos risos e gritos da multidão. [...] No alto da torre, formulou mais uma vez a questão com toda a exatidão. Se os corpos, ao cair, chegassem ao solo ao mesmo tempo, ele seria o vitorioso; mas, se chegassem em momentos diferentes, seriam seus adversários que teriam razão. [...] Chegara o momento. Galileu largou as duas bolas de ferro. Todos os olhares se dirigiram para o alto. Silêncio! E o que se viu: as duas bolas partir juntas, cair juntas e juntas tocar a Terra ao pé da torre.

De acordo com Koyré (1982), em todos os relatos dos historiadores são encontrados os mesmos elementos como: ataque público ao aristotelismo, experiência pública realizada no alto da torre inclinada, sucesso da experiência com a queda simultânea dos corpos, consternação dos adversários que persistiam nas crenças tradicionais. Para Koyré, no entanto, todos os traços que dramatizam a narrativa de Fahie e Namer são simplesmente inventados por eles, mesmo que suas narrativas sejam baseadas direta ou indiretamente no relato do *Racconto storico* de Viviani. Koyré ressalta que os historiadores que se ocuparam de Galileu desenvolveram e enfeitaram o relato de Viviani. Para mostrar esse ponto, Koyré faz três considerações a respeito do suposto episódio:

Em primeiro lugar, baseado em Wohlwill¹², Koyré argumenta que teria sido contra os costumes da época que um professor completamente sem prestígio como Galileu pudesse reunir as pessoas em torno da torre de Pisa para realizar tal

¹² Para Koyré, V. E. Wohlwill foi o único historiador de Galileu que pôs em dúvida os relatos de Viviani.

experimento. Em segundo lugar, mesmo que Galileu tivesse feito tal experimento, ele não teria sido original, pois outros estudiosos já realizavam experiências com a queda dos copos. Por fim, em terceiro lugar, Galileu, que nos narrou experiências apenas imaginadas em suas obras, teria deixado de nos contar uma experiência que de fato fora realizada: “Isso é tão improvável que não o podemos seriamente admitir, a única explicação possível para esse silêncio é a seguinte: se Galileu nunca fala da experiência de Pisa, é porque ele não a fez” (KOYRÉ, 1982, p.202).

No entanto, para Koyré, além da questão histórica a respeito da existência ou não da experiência de Pisa, há outra questão relacionada ao problema da queda dos corpos, pois, de acordo com Koyré, Galileu não apenas não fez como, inclusive, não deveria tê-la feito. A propósito, alguns estudiosos anteriores a Galileu como Baliani¹³, Cabeo¹⁴, Renieri¹⁵ e Riccioli¹⁶ realizaram experimentos com queda de corpos diferentes, mas todos verificavam diferença nos tempos de chegada ao solo. Em nota, Koyré (1982, p.206), menciona: “Riccioli explica que é um tanto impossível medir diretamente diferenças de tempo tão pequenas e supõe que Cabeo tenha observado quedas curtas demais para poder notar o que quer que fosse”.

De acordo com Koyré, a afirmação de que os corpos caíam com uma velocidade igual não havia sido compreendida pelos estudiosos, mas para Galileu valia fundamentalmente para o caso abstrato do movimento sem a influência do ar, e para o movimento no ar, isto é, no espaço cheio onde não se pode vencer sua resistência, a experiência era de forma totalmente diferente.

Ressaltamos que se Galileu tivesse feito a experiência, seriam os aristotélicos que teriam razão e não ele. Logo, a experiência não está ao lado de Galileu e sim de Aristóteles.

¹³ Giovanni Battista Baliani, *De motu gravium*, Genova, 1639.

¹⁴ Niccolo Cabeo, *In libros meterologicos Aristotelis*, Romae, 1646, vol. I, p. 97.

¹⁵ Vincenzo Renieri, *Carta a Galileu*, de 20 de março de 1641 (Opere, vol. XVIII, p. 310).

¹⁶ V. Giovanni Battista Riccioli, *Almagestum Novum*, Bononiae, 1651, vol. II, p. 392.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMENTOS E ANÁLISES

Neste capítulo apresentamos algumas descrições e análises da historiografia de Galileu Galilei e do movimento da queda dos corpos de alguns livros didáticos de física do Ensino Médio aprovados no PNLD/2012¹⁷. O nosso primeiro passo foi apresentar as descrições historiográficas de cada obra didática para conhecermos o que as mesmas trazem de HFC. O segundo passo foi elaborar quatro categorias que nos possibilitaram verificar os aspectos nos quais há e nos quais não há correspondência do Galileu reconstruído historiograficamente pelos nossos referenciais teóricos e o Galileu apresentado nos livros didáticos. As categorias consistem em: método científico; experiência; experimento mental e uso da matemática. Reforçamos que estas categorias emergiram dos escritos de Kuhn e Koyré, como também, daquilo que os livros apresentam de mais importante em suas narrativas.

O nosso terceiro passo foi analisar estes livros didáticos e tecer discussões acerca da mesma com base nos nossos referenciais teóricos. Acreditamos que esta forma de apresentação representa melhor os procedimentos do trabalho, pois faz uma distinção entre o que está sendo apresentado de historiografia e o que posteriormente é analisado na tentativa de responder nosso problema de pesquisa.

Ressaltamos que a nossa intenção não é levantar juízo de valor em relação às obras, mas sim explorar, as potencialidades de cada obra em favor de mais conteúdos históricos e da inserção de HFC no Ensino, seguindo a linha dos trabalhos de Rosa e Silva (2010) em “*A história da ciência nos livros didáticos de Biologia do Ensino Médio*” e Zamberlan e Silva (2008) em “*Contribuições da História e Filosofia da Ciência para o ensino da Evolução Biológica*”.

¹⁷ Selecionamos estes livros justamente por terem sido aprovados pelo PNLD/2012

A seguir, no quadro 2, apresentamos nosso objeto de pesquisa, que constituem seis coleções do volume 1 de física aprovadas no PNLD/2012 com seus respectivos autores e editora.

Quadro 2 - Lista de livros didáticos aprovados no PNLD/2012 selecionados para análise

OBRA	AUTOR	EDITORA
Conexões com a Física	Blaidi Sant'Anna Glória Martini Hugo Carneiro Reis Walter Spinelli	Moderna
Quanta Física	Carlos Aparecido Kantor Lilio Alonso Paoliello Junior Luis Carlos de Menezes Marcelo de Carvalho Bonetti Osvaldo Canato Junior Viviane Moraes Alves	PD
Física	Gualter Helou Newton	Saraiva
Física aula por aula	Benigno Barreto Filho Claúdio Xavier da Silva	FTD
Física em contextos – pessoal – social – histórico	Alexander Pogibin Maurício Pietrocola Oliveira Renata de Andrade Talita Raquel Romero	FTD
Física para o Ensino Médio	Fuke Kazuhito	Saraiva

3.1 LIVRO DE SILVA E BENIGNO

3.1.1 Descrição da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda dos Corpos Apresentadas no Livro de Silva e Benigno

O livro de Xavier e Benigno apresentam uma seção denominada Ciência & Método. Nesta seção os autores mencionam que o método experimental surgiu com Galileu, por volta de 1600 e que ele foi o primeiro a descrever esse método no seu estudo sobre a queda livre dos corpos.

Os autores relatam que em seus estudos Galileu analisou o movimento acelerado de um corpo ao descer um plano inclinado e que o movimento de queda nesse tipo de plano reproduz a mesma estrutura da queda vertical.

De acordo com Silva e Benigno, Galileu refez esse experimento repetidas vezes e registrou as condições de queda, chegando à conclusão de que quando abandonamos dois corpos no mesmo instante e da mesma altura, eles chegam juntos ao solo, ainda que tenham massas diferentes.

Os autores comentam que na época, essa conclusão de Galileu causou muitas desconfianças, mas que o importante é que a forma como ele realizou e descreveu o experimento permitia que qualquer pessoa pudesse reproduzi-lo em outro local com outros materiais, obtendo os mesmos resultados. Os autores complementam que isso representou um grande avanço para a Ciência.

Silva e Benigno informam que o método científico é usado como uma maneira de estudar fenômenos e, por meio de observações e experimentos, chegar a conclusões que confirmem hipóteses elaboradas.

Os autores finalizam o texto dizendo que para a Ciência, a escolha do método de pesquisa é fundamental, pois muitas questões foram examinadas com métodos fundamentados no raciocínio intuitivo, o que ocasionou a construção de ideias falsas.

Os autores iniciam o texto introdutório do capítulo 6 intitulado “Queda livre e lançamento vertical” escrevendo que o estudo da queda dos corpos foi um tema de pesquisa tanto de pensadores da Antiguidade como dos primeiros físicos modernos.

Em seguida Silva e Benigno mostram que para Aristóteles, se abandonássemos dois corpos de massas diferentes da mesma altura e no mesmo instante, o corpo de maior massa chegaria primeiro ao solo. Os autores informam que essa ideia persistiu durante séculos, até que, no início do século XVII, Galileu passou a questioná-la sistematicamente.

No desenvolvimento do texto, os autores relatam que, conta a história que Galileu abandonou do alto da torre de Pisa, simultaneamente, uma esfera de canhão e outra de mosquete, de massas diferentes. Alguns afirmaram que as esferas atingiram o solo ao mesmo tempo, mas nada disso foi comprovado.

Silva e Benigno informam que as verdadeiras pesquisas de Galileu sobre a queda dos corpos estão baseadas em experimentos engenhosos. Os autores contam ainda que para diminuir a influência da aceleração da gravidade durante a queda, Galileu analisou o movimento de descida de esferas em um plano

inclinado. Assim Galileu concluiu que os diferentes corpos chegavam quase exatamente no mesmo instante ao solo.

Segundo os autores, a pouca diferença entre os tempos de queda dos corpos foi atribuída por Galileu à resistência oferecida pelo ar, que atuaria diferentemente nos corpos testados. Com essa ressalva, afirmou que todos os corpos chegavam ao solo sempre ao mesmo tempo quando abandonados da mesma altura, não importando a massa de cada um.

Os autores apresentam esta mesma experiência da queda dos corpos feita por outros cientistas, como por exemplo, informam que o inglês Robert Boyle (1627 – 1691) conseguiu vedar um tubo de vidro com ar rarefeito, em cujo interior introduziu uma moeda e uma pedra, e mostrou experimentalmente que, livres da resistência do ar, os corpos caíam com a mesma aceleração. Outro cientista e astronauta americano David Scott fez o mesmo experimento na Lua, abandonando simultaneamente da mesma altura um martelo e uma pena, e observou que ambos chegaram ao solo ao mesmo tempo.

3.1.2 Categorias Presentes no Livro de Silva e Benigno

Na apresentação da seção Ciência & Método no livro didático de Silva & Benigno, identificamos a presença de duas categorias, tais como: experiência e método científico.

a) **Experiência:** está presente quando os autores mencionam que Galileu refez o experimento do movimento de queda repetidas vezes e que a forma como Galileu realizou e descreveu o experimento permitia que qualquer pessoa pudesse reproduzi-lo em outro local e com materiais diferentes, obtendo os mesmos resultados.

Na seção do livro que apresenta o capítulo 6 intitulado “Queda livre e lançamento vertical”, a categoria *experiência* se faz presente no momento em que os autores contam o que conta a história sobre Galileu ter abandonado do alto da torre de Pisa, simultaneamente, uma esfera de canhão e outra de mosquete, de massas diferentes. Outro momento presente desta categoria é quando os autores informam que as verdadeiras pesquisas com a queda dos corpos estão baseadas em experimentos mais engenhosos.

b) **Método científico:** está presente em todo momento no texto dos autores, apresentaremos pelo menos quatro exemplos em que é evidente esta categoria; o primeiro momento é quando Silva e Benigno apresentam que o método experimental surgiu com Galileu e que ele foi o primeiro a descrever esse método no seu trabalho sobre a queda dos corpos; o segundo momento é quando os autores informam e descrevem que o método científico é usado como uma maneira de estudar fenômenos e, por meio de observações e experimentos, chegar a conclusões que confirmem hipóteses elaboradas (opiniões baseadas em fatos).

3.1.3 Análise da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda dos Corpos no Livro de Silva e Benigno

Com a análise do livro de Silva e Benigno podemos observar que os autores pouco mencionam datas e descrevem em poucas palavras uma experiência de queda dos corpos em um plano inclinado, realizado por Galileu. Os autores comentam sobre o método científico como método de estudos dos fenômenos e ressaltam a importância de maneira simplificada, no nível dos leitores, sobre a importância da escolha de um método de pesquisa, pois para eles muitas questões foram verificadas com métodos fundamentados no raciocínio intuitivo, o que mais tarde ocasionou a construção de ideias falsas.

Em relação à historiografia de Galileu percebemos que pouco foi comentado, a bem da verdade, os autores não trouxeram dados biográficos do cientista, apenas mencionam a importância a sua importância para o avanço da Ciência com o método científico. Na historiografia do movimento de queda dos corpos encontramos uma narrativa da experiência de Pisa. Percebemos uma certa impessoalidade dos autores ao narrarem este episódio, pois introduziram a narrativa com “conta-se a história [...]”, e no término do texto deixam claro aos leitores “[...] mas nada disso foi comprovado”.

Nesta parte do texto percebemos uma certa correspondência da narrativa do episódio da experiência de Pisa dos autores com o que Koyré nos apresenta em Estudos de Histórias do Pensamento Científico. Já na descrição do movimento de queda em relação ao movimento de descida dos corpos em um plano inclinado, verificamos que os autores simplificaram o aparato físico-matemático em

que esta teoria está inserida, conforme visto em Estudos Galilaicos de Koyré, apresentando as leitores apenas um texto informativo. Assim, como está apresentado no texto, nos passou uma noção de que foi simples para Galileu desenvolver teorizar a lei de queda dos corpos apenas fazendo repetidas experiências com plano inclinado.

Mais uma vez encontramos no texto dos autores uma tentativa de facilitar o conteúdo científico de forma pedagógica, quando os mesmos apresentam um exemplo de queda dos corpos realizado por um astronauta americano ao abandonar simultaneamente da “mesma altura” um martelo e uma pena na superfície da Lua. Destacamos a expressão ‘mesma altura’, pois não se pode afirmar com precisão que os corpos estavam na mesma altura, uma vez que as condições ideais de medidas eram inexistentes, ou seja, apenas lançar dois corpos diferentes tomando como parâmetro a posição dos braços de uma pessoa não é estabelecer uma medida precisa de distância.

Ficamos com a impressão que, a título de conhecimento escolar, a história dos feitos científicos deve tender sempre para uma ação positiva, por exemplo, uma determinada teoria científica só será plausível e bem compreendida aos alunos se seus resultados forem bem sucedidos. Retornamos a Kuhn quando nos fala que o objetivo de tais livros é inevitavelmente persuasivo e pedagógico. Queremos dizer com isso que essa postura pedagógica pode de certa forma persuadir a compreensão de determinado assunto, deixando de lado o caráter científico e o contexto da NdC destas descobertas.

Diante da nossa análise, entendemos que há de certa forma nesta obra uma correspondência da historiografia de Galileu e o movimento da queda dos corpos, porém acreditamos em mais avanços em relação à HFC no sentido de propiciar ao leitor uma narrativa historiográfica mais consistente. Em nossa análise não encontramos no corpo do texto desta obra nenhuma referência bibliográfica ou documento como fonte de informações.

3.2 LIVRO DE DOCA ET AL. (2010)

3.2.1 Descrição da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda Apresentada no Livro Didático de Doca et al. (2010)

O livro de Doca, Biscuola e Villas Bôas apresenta uma seção introdutória do capítulo 5 intitulado “Princípios da Dinâmica”, cuja seção faz referência aos grandes pensadores da Ciência destacando os nomes de Aristóteles (384 a. c. – 322 a. c.), Galileu Galilei (1564 -1642), Isaac Newton (1642 – 1727) e Albert Einstein (1879 – 1955).

Nesta referida seção os autores informam dados biográficos de Galileu, como sendo, italiano de Pisa e considerado o fundador da Ciência Moderna pela introdução do método científico. A este método, os autores classificam como a compreensão e comprovação das leis da natureza, por meio da experimentação sistemática. Os autores apresentam também que Galileu estudou a queda dos corpos e inventou uma série de instrumentos científicos ligados à Hidrostática e à Astronomia.

Doca *et al* (2010) informam que Galileu desenvolveu o telescópio, que lhe permitiu observar a Lua, os anéis de Saturno, os satélites de Júpiter e as manchas solares, dando forte apoio à teoria Heliocêntrica de Copérnico, o que lhe custou enfrentamentos com a Igreja, a qual o obrigou a abjurar perante o tribunal da Inquisição.

No capítulo 9 intitulado “Movimento em campo gravitacional uniforme”, encontramos uma pequena seção que os autores denominaram de “uma experiência imaginária de Galileu”.

Nesta seção os autores informam que Galileu Galilei, o grande físico italiano do século XVII, não tinha como provar por teoria ou mostrar experimentalmente que a aceleração de corpos de massas diferentes, em queda livre, é rigorosamente a mesma, por isso concebeu mentalmente o experimento.

Os autores contam na seção que Galileu imaginou três corpos idênticos, cada um com massa m , abandonados da mesma altura. Ele imaginou em seguida, que dois corpos, durante a queda, se ligassem um ao outro, como se fossem duas pessoas que, caindo emparelhadas, se dessem as mãos.

De acordo com os autores, Galileu pensou que os dois corpos ligados se comportariam exatamente como em único corpo de massa $2m$. Assim, concluiu que um corpo de massa $2m$ e um de massa m devem cair com a mesma aceleração.

3.2.2 Categorias Presentes no Livro de Doca et al. (2010)

Na seção introdutória do capítulo 5 encontramos a categoria do *método científico*. Já no capítulo 9 encontramos as categorias da *experiência*, *experimento mental* e *uso da matemática*.

- a) **Método Científico:** está presente no texto quando os autores mencionam que Galileu foi o fundador da Ciência Moderna com o método científico que compreende e comprova as leis da natureza por meio da experimentação sistemática.
- b) **Experiência:** está presente no texto quando os autores descrevem os procedimentos utilizados por Galileu. A categoria do experimento mental está presente no próprio título da seção que trata da experiência imaginária de Galileu em que os autores mencionam que Galileu não tinha como provar por teoria ou mostrar experimentalmente que a aceleração dos corpos de diferentes massas em queda livre é a mesma.
- c) **Uso da matemática:** os autores descreveram alguns procedimentos matemáticos que Galileu teria idealizado a experiência por meio da representação geométrica e numérica.

3.2.3 Análise da historiografia de Galileu e do movimento de queda dos corpos no livro de Doca et al. (2010)

Observamos que nesta obra os autores tecem considerações biográficas sobre Galileu, apresentando-o como o fundador da Ciência Moderna com o método científico e responsável por inventar instrumentos científicos ligados a vários campos da física.

Em relação à historiografia do movimento de queda dos corpos os autores apresentam uma seção que denominaram de “uma experiência imaginária”. Ora, este título nos é sugestivo à correspondência ao que Koyré algumas vezes ressaltou em *Estudos de História do Pensamento Científico e Estudos Galilaicos*, visto no capítulo 3 deste trabalho.

Em nossa análise não encontramos nesta obra a narrativa do episódio da experiência de Pisa, entretanto, os autores afirmam que Galileu não

tinha como provar experimentalmente sua teoria sobre a queda dos corpos de massas diferentes em queda livre, por isso a concebeu mentalmente. Até o devido momento encontramos correspondência do texto dos autores com os escritos de Koyré, para melhor visualização desta correspondência retomaremos à seção 2.3 deste trabalho quando Koyré nos fala que a lei da queda dos corpos é uma lei que não se podia realizar na experiência cotidiana do homem, pois só era válida para o caso abstrato do movimento sem a influência do ar.

Observamos ainda que os autores elaboraram uma descrição da lei do movimento que difere dos escritos de Koyré em *Estudos Galilaicos*, obra na qual construímos a maior parte de nosso referencial teórico sobre a lei da queda dos corpos. Apresentaremos o texto de Doca *et al.* (2010) descrito em sua obra:

*Galileu imaginou três corpos idênticos cada um com massa m , abandonados da mesma altura. Ele imaginou em seguida, que dois corpos, durante a queda, se ligassem um ao outro, como se fossem duas pessoas que, caindo emparelhadas, se dessem as mãos. Galileu pensou que os dois corpos ligados se comportariam exatamente como em único corpo de massa $2m$. Assim, concluiu que um corpo de massa $2m$ e um de massa m devem cair com a mesma aceleração (DOCA *et al.*, 2010. p. 239).*

Verificamos nas fontes originais de *Estudos Galilaicos* de Koyré e *Duas Novas Ciências* de Galileu se há esta passagem tal qual apresentada no texto de Doca *et al.* (2010) e não encontramos qualquer descrição desta natureza nos dois livros.

Concluimos novamente que a forma como os métodos e feitos desenvolvidos pelos cientistas transcritos para o estudo dos conteúdos escolares são reinventados pelos autores deixando de lado o caráter científico da experiência ou da lei, ou da teoria etc. Como fomos diretamente às fontes para investigar a veracidade da informação contida no texto, resta nos questionar: Por que inserir uma seção que descreve um feito historiográfico se este não está de acordo com as fontes históricas da informação? O que pressupomos é que talvez a história que está sendo descrita parte da ideia de movimento dos próprios autores, pois no referido texto não é apresentada qualquer referência bibliográfica ou documento que comprove a informação.

3.3 LIVRO DE SANT'ANNA *ET AL.* (2010)

3.3.1 Descrição da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda Apresentada no Livro Didático de Sant'Anna *et al.* (2010)

No livro de Sant' Anna e colaboradores (2010), não encontramos informações biográficas de Galileu. No capítulo 2 intitulado “Movimentos com velocidade variável”, os autores apresentam um texto com o título: *Repouso não existe!* Este texto traz a informação de que Galileu realizou experimentos com esferas fazendo-as rolar por planos inclinados lisos a fim de estudar sua aceleração. Os autores mencionam que as conclusões de Galileu serviram de base para a elaboração de equações matemáticas que auxiliam na análise do movimento.

No mesmo capítulo, há uma seção destinada a Galileu e o movimento acelerado. Nesta seção os autores apresentam um texto que conta a história que Galileu Galilei realizou uma experiência com uma esfera deslizando por uma rampa inclinada de madeira, bem lisa, quase sem atrito, e que esta experiência fornece um exemplo de movimento uniformemente variado. Os autores contam que Galileu explorou essa ideia e percebeu que a esfera descendo o plano percorria em intervalos iguais de tempo, distâncias que aumentavam proporcionalmente. Assim Galileu percebeu que a distância total percorrida pela esfera era diretamente proporcional ao quadrado do tempo.

No capítulo 7 “Lançamento vertical no vácuo”, há uma pequena participação de Galileu no texto quando os autores o apresentam como um cientista italiano que viveu entre os séculos XVI e XVII.

O capítulo 2 do livro de Sant'Anna *et al.* (2010), finaliza com uma seção de história da ciência intitulada *Para saber mais: Sempre foi assim?* Nesta seção, os autores apresentam concepções sobre o movimento e destacam Aristóteles (Grécia, século IV a. c.) que explicava o movimento dos corpos na natureza por meio da análise dos elementos constituintes desses corpos.

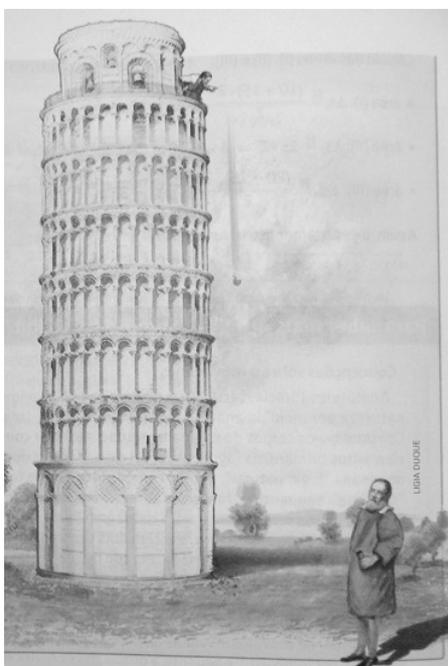
De acordo com os autores, na visão de Aristóteles, existem dois tipos de movimento: o violento e o natural. Por exemplo, um corpo somente seria retirado do seu “lugar natural” se sofresse um movimento violento e retornaria ao local por meio do movimento natural, geralmente retilíneo e vertical.

Os autores informam que sabemos hoje que os movimentos não podem ser explicados segundo a concepção aristotélica, pois foi principalmente no século XVII, com Galileu Galilei que essas concepções começaram a mudar.

De acordo com o texto dos autores, Galileu não baseava suas conclusões acerca do movimento apenas na observação, ele fazia experimentos e tentava expressar matematicamente os resultados obtidos.

Para os autores, essa nova maneira, base do procedimento científico atual, levaria à superação da ideia qualitativa de que o movimento estivesse ligado à essência dos corpos, como acreditava Aristóteles. A figura 4 mostra a ilustração contida no livro de Sant'Anna *et al.* (2010) como uma representação da experiência da queda dos corpos feita por Galileu na torre de Pisa.

Figura 4 - Imagem representativa da experiência da queda dos corpos feita por Galileu na torre de Pisa



Fonte: Sant'Anna *et al.* (2010)

No capítulo 7, os autores apresentam o movimento de queda livre como uma queda sem qualquer resistência, ou seja, no vácuo e contam que Galileu dizia que se um martelo e uma pena fossem soltos da mesma altura numa região em que não houvesse ar, isto é no vácuo, o martelo e a pena cairiam com a mesma aceleração e, portanto, chegariam juntos ao chão.

Os autores informam que não existem registros seguros sobre a veracidade da ocorrência, mas conta-se que Galileu soltou duas bolas de ferro de

massas bem distintas do alto da torre de Pisa, a fim de comprovar suas ideias sobre um único valor de aceleração de queda para todos os corpos, independente do valor da massa de cada um.

Eles mencionam ainda que quando a missão norte-americana Apollo 11 chegou à Lua em 1969, um dos astronautas deixou-se filmar soltando um martelo e uma pena, para que todos, pela televisão, pudessem acompanhar a verificação da teoria de Galileu sobre a queda dos corpos.

3.3.2 Categorias Presentes no Livro de Sant'Anna *et al.* (2010)

Nesta obra foi possível encontrar as categorias *experiência*, *experimento mental*, *método científico* e *uso da matemática*.

- a) **Experiência:** está presente no capítulo 2 do livro quando os autores mencionam que Galileu realizou experimentos com esferas fazendo-as rolar em um plano inclinado. Esta categoria se faz presente também quando os autores contam que um dos astronautas realizou a experiência da queda dos corpos na Lua para confirmar a teoria de Galileu.
- b) **Experimento mental:** está presente no texto quando os autores informam que não há veracidade da ocorrência de que Galileu soltou duas bolas de ferro de massas diferentes do alto da torre de Pisa, a fim de comprovar sua ideia sobre um único valor de aceleração de queda dos para dois corpos.
- c) **Método científico:** está presente quando os autores mencionam que Galileu fazia experimentos e tentava expressar matematicamente os resultados obtidos.
- d) **Uso da matemática:** está presente quando os autores informam que Galileu percebeu que a esfera descendo um plano inclinado percorria em intervalos iguais de tempo, ou seja, a distância aumentava proporcionalmente ao quadrado do tempo

$$d \propto t^2$$

Ressaltamos que nesta obra foram encontradas as quatro categorias de análise.

3.3.3 Análise da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda dos Corpos no Livro de Sant'Anna *et al.* (2010)

Observamos que não há relatos historiográficos da vida de Galileu no texto desta obra, encontramos apenas algumas datas, mas que não dizem respeito à sua biografia e sim aos seus feitos.

Identificamos em nossa análise uma correspondência de informação com os escritos de Koyré, quando os autores mencionam que Galileu realizou experimentos com esferas fazendo-as rolar sobre planos inclinados para estudar sua aceleração. Em relação à historiografia do movimento de queda dos corpos, no final do capítulo destina-se uma seção à HFC, tal como Matthews (1995) ressaltou que é comum não encontrarmos a HFC inserida diretamente no conteúdo, ela aparece após a conclusão do assunto em forma de box, uma espécie de apêndice.

Nesta referida seção verificamos que os autores apresentam, a visão do movimento aristotélico e galilaico. Em se tratando de Galileu, observamos que os autores reforçam a ideia da imagem do cientista empiricista, que não se baseava na observação e sim na experiência e justifica suas teorias pelo uso da matemática.

Vimos que nesta obra está descrita a narrativa do episódio da experiência de Pisa, seguida da imagem clássica de Galileu e a torre de Pisa de acordo com os relatos de Viviani e os demais historiadores de Galileu apresentados por Koyré. Observamos uma certa correspondência nas informações dos autores com os escritos de Koyré, quando os mesmos informaram que não existem registros seguros sobre a veracidade da realização desta experiência.

Identificamos nesta obra a mesma informação do astronauta que se deixou filmar soltando um martelo e uma pena, como forma de demonstração da experiência da queda dos corpos de Galileu. Novamente argumentamos que este tipo de história inserida nos livros didáticos é pedagogicamente persuasiva e podem comprometer as relações que o aluno poderia estabelecer ao caráter histórico científico. Queremos deixar claro, que não estamos levantando juízo de valor ou negando o episódio do astronauta na lua, estamos apenas ressaltando que a HFC e a NdC devem ser levadas em consideração no processo de aprendizagem escolar e científica do aluno.

Esta obra nos mostrou perfeitamente os aspectos textuais em que há ou não correspondência com a historiografia de Galileu e o movimento de queda dos

corpos. Por exemplo, no que se refere a Galileu concluímos que não existiram muitos avanços nas informações, pois além da quase inexistência de informações, apresentou um Galileu empirista, diferente do Galileu apresentado por Koyré. Já na historiografia do movimento de queda esta obra apresentou avanços em suas informações correspondendo de certa forma com o nosso referencial.

3.4 LIVRO DE OLIVEIRA ET AL. (2010)

3.4.1 Descrição da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda no Livro de Oliveira *et al* (2010)

No capítulo 4 do livro de Oliveira *et al.* (2010), intitulado “Investigando a queda dos corpos”, os autores trazem informações biográficas de Galileu, por exemplo:

[...] por volta de 1610, o médico (de formação) e cientista italiano Galileu Galilei começou a escrever uma das páginas mais importantes da história da Ciência. Seus escritos deram origem à Ciência Moderna, rompendo com o pensamento aristotélico dominante havia já 2mil anos (Oliveira *et al.* 2010, p. 116).

De acordo com os autores, Galileu deparou-se com muitas dificuldades técnicas e práticas ao estudar a queda dos corpos.

No final do capítulo 4 os autores trazem uma seção da História da Ciência que tem como título “Um diálogo sobre a queda livre”. Nesta seção os autores fazem uma apresentação biográfica de Galileu que diz:

Galileu Galilei formou-se em Medicina, mas a leitura dos trabalhos do matemático grego Euclides (330 a. C – 260 a. C.) e do astrônomo polonês Copérnico (1473 – 1543) “virou” sua cabeça para a Geometria, a Física e a Astronomia (Oliveira *et al.*, 2010).

Os autores contam que os trabalhos de Euclides foram decisivos pra a formação matemática de Galileu e que a influência de Copérnico pode ser percebida em uma de suas principais obras *Diálogo sobre os dois grandes sistemas universais* de 1632.

Os autores informam que esta obra não só foi condenada pela Igreja, como proibiu Galileu de lecionar as novas concepções de modelos explicativos do Universo.

De acordo com os autores, Galileu se dedicou ao estudo da Mecânica e polemizou com os aristotélicos por meio de um fantástico texto chamado "*Discursos e demonstrações matemáticas relativas a duas novas Ciências pertinentes à mecânica e ao movimento local*", conhecida como "*As duas novas Ciências*".

Segundo os autores, nesse livro, o sarcasmo e a criatividade de Galileu levaram-no a elaborar um bem comportado diálogo entre três personagens, denominados: Simplicio, um aristotélico; Salviati, um desprentecioso, porém convicto, apresentador das "novas" ideias de Galileu; Sagredo, um cidadão de intelectualidade apurada e sedento de saber.

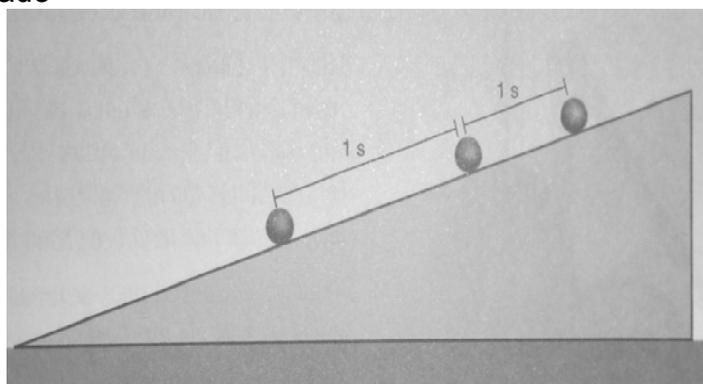
Ainda no capítulo, os autores destacam o movimento natural segundo Aristóteles. De acordo com os autores, até meados do século XVI, o que se pensava acerca dos movimentos dos corpos e suas causas seguiam as ideias de Aristóteles que dizia que os corpos pesados caíam porque tinham de ocupar seu lugar natural. Assim, era natural que uma pedra, constituída pelo elemento terra, ao ser largada a certa altura, despencasse em direção ao centro da Terra. Segundo os autores, para Aristóteles a velocidade dependeria do peso do corpo. Os mais pesados cairiam com uma velocidade maior em relação aos mais leves.

No capítulo 5 intitulado "Outros movimentos retilíneos", os autores aprofundam o estudo dos movimentos e mostram que Aristóteles chamava de movimento natural todo movimento retilíneo em direção à Terra e o não natural, seria o movimento violento, aquele produzido em um corpo por um agente. Já Galileu, um de seus grandes méritos foi equacionar o movimento de queda dos corpos que ocorre com a aceleração constante. De acordo com os autores, dessa maneira Galileu pôde monitorar os corpos com esse tipo de movimento e fazer previsões relativas à posição e à velocidade.

No final do capítulo 4, os autores descrevem o experimento de Galileu com a queda dos corpos em um plano inclinado. Segundo os autores, o objetivo de Galileu era determinar se esse movimento era uniforme ou variado (acelerado). Os autores contam que uma maneira de analisar esse movimento é anotar as posições da bolinha sempre em dado intervalo de tempo. No texto está

contida uma imagem que representa o experimento de Galileu como a figura 5 abaixo:

Figura 5 - Imagem que representa a experiência de Galileu em um plano inclinado



Fonte: Oliveira *et al.* (2010)

Os autores escrevem que como as distâncias das bolinhas são cada vez maiores podemos concluir que o movimento é acelerado, ou seja, velocidade aumenta. Explica-se essa aceleração pela atração gravitacional da Terra.

No início do capítulo 4 encontramos o título de uma seção denominada “A estratégia de Galileu”, nesta seção os autores contam que convencido de que a velocidade dos corpos em queda aumenta gradativamente, Galileu argumentou que esses corpos sofrem acréscimos constantes de velocidade, isto é, sempre ocorre a adição da mesma parcela de velocidade, em intervalos iguais de tempo.

Os autores escrevem que quando Galileu imaginou uma estratégia para comprovar essa argumentação, ele pode ter pensado:

Se um corpo que cai livremente varia sua velocidade de maneira uniforme – sofre acréscimos iguais de velocidade em intervalos de tempos iguais, outro que rola por uma rampa também deve variar sua velocidade da mesma maneira. A diferença está na intensidade da variação (PIETROCOLA et al., 2010, p.)

Segundo os autores, desse raciocínio pode ter surgido a ideia de analisar a variação da velocidade de um corpo que desce um plano inclinado (rampa), pois a variação é menor do que durante a queda.

De acordo com os autores, a história conta que, para fazer o experimento, Galileu usou uma tábua de 6 m de comprimento, 25 cm de largura e três dedos de espessura na qual construiu um canal. Em seu arranjo experimental, elevou um pouco uma extremidade da tábua, obtendo um plano inclinado, a inclinação era inferior a 10°.

Segundo os autores, Galileu fez rolar uma esfera de bronze, de diâmetro desconhecido, a partir do repouso. Para medir o tempo, utilizou seus batimentos cardíacos. Mas, por não serem constantes e pro serem difíceis de avaliar as frações de batimentos cardíacos, Galileu passou a fazer as medidas de intervalo de tempo com um relógio de água, que consistia em um recipiente com uma base onde a água podia escorrer, como mostra a figura 6. Para realizar a medida de tempo com esse instrumento, Galileu encheu completamente o recipiente e fez a água escorrer pelo orifício ao mesmo tempo que se iniciava o movimento da esfera sobre a rampa.

De acordo com os autores depois de a esfera ter percorrido determinada distância, Galileu interrompeu o fluxo de água e mediu o volume restante do recipiente. Comparando os pesos dos volumes de água, ele estimulou o tempo gasto para cada descida da esfera pela rampa.

Na sequência os autores apresentam um texto com a descrição experimental feita por Galileu no livro *Dois novas Ciências*, que foi redigido em forma de diálogo.

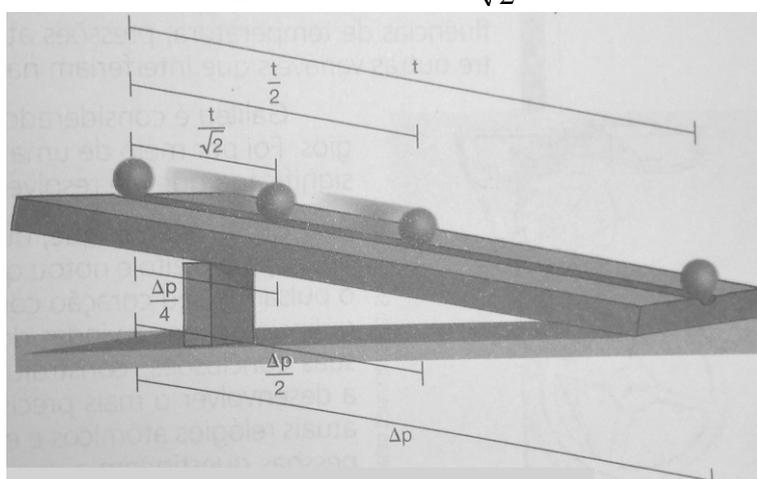
[...] repetindo a mesma experiência muitas vezes para determinar exatamente a quantidade de tempo, na qual nunca se encontrava uma diferença nem mesmo da décima parte de uma batida de pulso. Feita e estabelecida com precisão tal operação, fizemos descer a mesma bola apenas por uma quarta parte do conhecimento total da canaleta; e, medido o tempo de queda, resultava ser sempre rigorosamente igual à metade do outro. Variando a seguir a experiência, e comparando o tempo requerido para percorrer todo o comprimento com o tempo requerido para percorrer a metade, ou dois terços, ou os três quartos, ou para concluir qualquer outra fração, através de experiências repetidas mais de cem vezes [...]
(MARICONDA E MARICONDA, s.d., p. 140)

De acordo com Oliveira *et al* (2010), Galileu primeiro mediu o tempo em que a esfera de bronze percorre o plano todo. Depois, mediu o tempo gasto para percorrer apenas um quarto do plano. Verificou que o tempo do percurso era a

metade do primeiro. Mediu também o tempo para percorrer metade do plano inclinado, obtendo um tempo igual ao primeiro dividido por $\sqrt{2}$.

Os autores contam que segundo os relatos, Galileu mediu o tempo gasto pela esfera para percorrer diversos comprimentos do plano inclinado, mas exemplificando somente três situações temos como mostra a figura 6:

Figura 6 - a) primeira medida: espaço percorrido $1p$; tempo gasto t ; b) segunda medida: espaço percorrido $\frac{\Delta p}{4}$; tempo gasto $\frac{t}{2}$; c) terceira medida: espaço percorrido $\frac{\Delta p}{2}$, tempo gasto $\frac{t}{\sqrt{2}}$



Fonte: Oliveira *et al.* (2010)

Segundo os autores, depois de obter esses dados, Galileu verificou que a relação entre eles se mantinha constante. Se dividirmos em cada caso, o percurso percorrido pelo quadrado do tempo gasto, obteremos a razão constante de acordo com o quadro 3:

Quadro 3 - Representação da relação constante entre o percurso percorrido pela esfera e o quadrado do tempo gasto

1ª medida	2ª medida	3ª medida
$\frac{\Delta p}{t}$	$\frac{\Delta p}{4} \times \frac{4}{\left(\frac{t}{2}\right)^2} = \frac{\Delta p}{4} \times \frac{4}{t^2} = \frac{\Delta p}{t^2}$	$\frac{\Delta p}{2} \times \frac{2}{\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right)^2} = \frac{\Delta p}{2} \times \frac{2}{t^2} = \frac{\Delta p}{t^2}$

Fonte: Oliveira *et al.* (2010)

Segundo os autores isso era o que Galileu procurava encontrar, uma ordem, um padrão na Natureza que poderia ser escrito em linguagem matemática e testado como ele mesmo escreveu, “centenas de vezes”.

3.4.2 Categorias Presentes no Livro de Oliveira *et al.* (2010)

As categorias da *experiência*, *uso da matemática* e *método científico* são encontradas a todo o momento na descrição historiográfica do movimento da queda dos corpos.

- a) **Experiência:** é evidente quando os autores descrevem a experiência da rampa inclinada formando um plano inclinado; nesta mesma experiência os autores mostram o raciocínio matemático utilizado por Galileu ao medir centenas de vezes o tempo e percurso percorrido pela esfera de bronze aumentava gradativamente com a velocidade, obtendo assim um movimento acelerado.
- b) **Uso da matemática e método científico:** são evidentes nos textos quando os autores comentam que o raciocínio matemático de Galileu recorre sempre a um método experimental em que testa suas hipóteses várias vezes e encontra resultados para suas conclusões, em outras palavras, ele procurava encontrar, uma ordem, um padrão na Natureza que poderia ser escrito em linguagem matemática e posteriormente testado.

Os autores apresentam as ideias de Aristóteles sobre o movimento de queda e dizem que Galileu equacionou este movimento de queda dos corpos que ocorre com a aceleração constante.

Das categorias mencionadas neste trabalho, a única que não foi encontrada nos textos dos autores foi a *experiência mental*, aquela em que Galileu supostamente teria feito a experiência na torre de Pisa para comprovar que corpos com massas diferentes caem em intervalos de tempos iguais com a mesma aceleração.

3.4.3 Análise da historiografia de Galileu e do movimento de queda dos corpos no livro de Oliveira *et al.* (2010)

Nesta obra, identificamos algumas considerações biográficas de Galileu. Observamos que os autores mostraram um Galileu comum, como qualquer estudioso que se dedica a sua pesquisa, diferente daquela imagem de cientista gênio, empirista, que comprova suas teorias por meio de experiência. Podemos evidenciar este Galileu, quando os autores mencionam que “*Galileu deparou-se com muitas dificuldades técnicas e práticas ao estudar a queda dos corpos*” (Oliveira *et al.*,2010).

Percebemos certa correspondência deste texto com o Galileu apresentado por Koyré em *Estudos de História do Pensamento Científico* quando o mesmo expressa:

[...] isso nos permite compreender por que a descoberta de coisas tão simples e fáceis quanto, por exemplo, as leis fundamentais do movimento, que hoje são ensinadas às crianças e por elas compreendidas – exigiu um esforço tão considerável [...] que, muitas vezes careceu de êxito para alguns espíritos mais profundos e mais poderosos da humanidade. É que eles não tinham de descobrir ou de estabelecer essas leis simples [...], mas criar e construir o próprio contexto que tornaria possíveis essas descobertas (KOYRÉ, 1982, p. 183).

Portanto, encontramos grandes possibilidades de correspondência do texto destes autores com os escrito de Koyré.

Verificamos que os autores apresentam em seu texto a obra *Duas Novas Ciências de Galileu Galilei* e descrevem com um breve resumo o diálogo entre os três personagens – Simplicio, Salviati e Sagredo, criados por Galileu para explicar sua ideia sobre a queda dos corpos. Acreditamos que a apresentação e inserção de trechos desta obra na seção que trata da historiografia da lei da queda dos corpos são de grande valia para a aprendizagem do aluno, porque além de possibilitar que o mesmo conheça a fonte original, pode propiciar uma maior compreensão ao pensamento de Galileu sem se basear totalmente na visão de um historiador, pois como já mencionamos neste trabalho em relação à crítica ao argumento (1) de motivação pela história de Mathews, não se pode pensar na

historiografia como um reflexo fiel dos fatos, uma vez que ela é caracterizada pela visão de quem a constrói.

Verificamos no texto grande correspondência com os escritos de Koyré quando os autores apresentam a visão aristotélica e galilaica do movimento. Percebemos ao longo do texto e sentimos a necessidade de ressaltar, que os autores não se preocupam em contestar a ideia de um nem de outro, ou seja, eles apresentam as duas visões do movimento sem destacar que um estava certo e o outro errado, como é comum encontrar este confronto de ideias em diversas obras. Acreditamos, portanto, que há uma mesma linha de ideia, nesta ocasião, do texto dos autores com a percepção de Kuhn quando expressa que as ideias de Aristóteles não eram erradas ou piores que as dos demais cientistas, apenas eram diferentes.

Identificamos também que há correspondência também em relação à experiência da queda dos corpos em um plano inclinado, o qual descrevemos por meio dos escritos de Koyré. Verificamos que a imagem da experiência do plano inclinado não está fielmente idêntica ao apresentado neste trabalho, porém propicia uma boa visualização da experiência como descrita por Koyré.

Verificamos que o texto produzido pelos autores em relação à teoria da lei da queda dos corpos também corresponde aos escritos de Koyré e observamos que além de os autores representarem a experiência da queda no plano inclinado, eles também descrevem este raciocínio algebricamente, de modo que ao alunos possam se familiarizar com o aparato físico-matemático utilizado por Galileu, expressos em *Duas Novas Ciências*.

Podemos dizer que nesta obra há sim grande relação de correspondência da reconstrução historiográfica de Galileu e do movimento de queda pelos nossos referenciais teóricos.

3.5 LIVRO DE YAMAMOTO E FUKU

3.5.1 Descrição da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda no Livro de Yamamoto e Fuku

No capítulo 17 do livro de Yamamoto e Fuku destinado à Gravitação, encontramos uma seção denominada A Física na História, intitulado *Contribuições de Galileu Galilei à construção do modelo de mundo*.

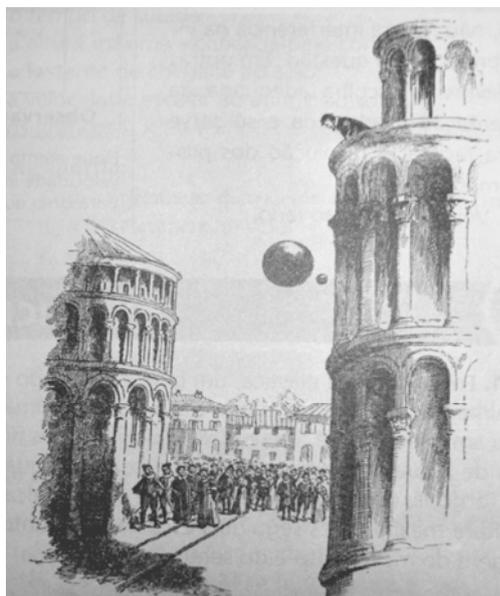
Neste texto os autores informam que em 1609, Galileu pôde observar os astros com uma luneta recém construída por ele. Descobriu que a Lua era cheia de crateras, não sendo uma esfera perfeita, como se imaginava na concepção aristotélica.

De acordo com os autores, Galileu viu que o Sol apresentava manchas e que havia satélites orbitando em torno de Júpiter. Com suas observações, Galileu fazia cair por terra a imagem de mundo divino e perfeito concebido por Aristóteles e adotado pela Igreja Católica. Por isso foi preso e julgado pelo Santo Ofício. Segundo os autores, depois de fazer uma retratação, Galileu foi condenado à prisão domiciliar e recebeu a proibição de escrever sobre qualquer assunto relacionado à Ciência. No capítulo 4 do livro de Yamamoto e Fuke encontramos na seção *A Física na História* um texto intitulado *Queda livre*. Neste texto os autores contam que na Grécia antiga, no tempo de Aristóteles, acreditava-se que, quanto maior fosse o peso de um corpo, mais rápido ele alcançaria o solo. E fazem um questionamento: “*Será que essa afirmação está correta?*” (YAMAMOTO e FUKU, 2010, p. 101).

Em seguida os autores informam que no século XVII, o italiano Galileu Galilei descobriu a lei de aceleração para qualquer objeto em movimento de queda livre. Segundo eles, Galileu apurou o tempo que os objetos distintos levavam para cair de determinadas alturas e descobriu que ele dependia da raiz quadrada da distância percorrida, independentemente de quais sejam as massas dos objetos. Esse experimento, os autores informam que recebeu o nome de experimento da torre de Pisa e contam a história do experimento dizendo que “do alto da torre, objetos com massas diferentes foram lançado para baixo e observadores testemunharam que eles chegaram ao solo simultaneamente” (YAMAMOTO E FUKU, 2010, p. 101).

A figura 7 representa a experiência da queda dos corpos na torre de Pisa feita por Galileu. Abaixo da figura, os autores mencionam que não há evidências de que Galileu tenha feito, realmente, o experimento da Torre de Pisa, mas o impacto da descoberta atingiu todos os setores da sociedade.

Figura 7 - Representação da experiência da queda dos corpos na torre de Pisa feita por Galileu



Fonte: Yamamoto e Fuke (2010)

Os autores comentam que desde então, deveríamos acreditar que o tempo de queda de um corpo não depende de sua massa nem de seu peso, pois o peso é uma grandeza determinada pela massa do corpo. Para tanto os autores, apresentam um questionamento que diz:

Se soltássemos, simultaneamente e de uma mesma altura, uma pena de ave e uma caneta esferográfica, elas chegariam juntinhas ao solo? A resposta é sim, se o experimento acontecer no vácuo e houver queda livre; a resposta é não, se existir a resistência do ar, que impedirá a livre movimentação da pena (YAMAMOTO E FUKE, 2010, p. 101).

Os autores explicam que queda livre refere-se a um movimento de descida, livre dos efeitos do ar. Portanto, é um efeito de MUV¹⁸ acelerado sob a ação da gravitação terrestre, apresentado no quadro 4 como as equações do MUV. Para melhor visualização das equações, recorreremos a um material disponível em um site de pesquisa que as descreve tal qual nos livros didáticos de física do Ensino Médio.

¹⁸ Movimento Uniformemente Variado é o movimento no qual a velocidade escalar varia uniformemente no decorrer do tempo. O movimento caracteriza-se por haver uma aceleração diferente de zero e constante.

Quadro 4 - Equações do Movimento Uniformemente Variado

$s = s_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$	<p>s é a posição (distância) atual do corpo; s_0 é a posição da qual ele começou o movimento; v_0 é a velocidade inicial do corpo, a é a aceleração e t é o tempo decorrido desde o início do movimento.</p>
$v = v_0 + at$	<p>v é a velocidade atual, v_0 é a velocidade inicial, a é a aceleração e t é o tempo decorrido desde o início do movimento.</p>
$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$ (Equação de Torricelli)	<p>v é a velocidade atual, v_0 é a velocidade inicial, a é a aceleração e Δs é a variação de posição durante o movimento.</p>

Fonte: Wikipedia. (Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Movimento_retil%C3%ADneo>. Acesso: 20 nov. 2012)

Os autores informam que tanto é verdade que as equações do MUV não levam em conta as massas dos corpos, pois essas não influem nas grandezas cinemáticas¹⁹. Por isso, de acordo com os autores, Galileu Galilei havia concluído corretamente, um corpo em queda livre sofre aceleração constante, independentemente da sua massa, tamanho ou formato.

3.5.2 Categorias Presentes no Livro de Yamamoto e Fuke

Encontramos no livro de Yamamoto e Kuke as categorias *experiência* e *experimento mental*.

- a) **Experiência:** é evidente quando os autores expõem que Galileu fez experiências com objetos distintos e apurou o tempo de queda que cada objeto levava para cair de determinadas alturas.
- b) **Experimento mental:** está presente no texto quando os autores contam a história do episódio da experiência de queda dos corpos na torre de Pisa, mas deixam

¹⁹ Grandezas cinemáticas são grandezas essenciais para determinar a descrição dos movimentos, como intervalo de tempo, posição, deslocamento, trajetória, referencia, ponto material e ponto extenso.

claro que não há evidências de que Galileu tenha a feito. As demais categorias como o uso da matemática e método científico não foram encontradas nesta seção do livro de Yamamoto e Fuke.

3.5.3 Análise da Historiografia de Galileu e do Movimento de Queda dos Corpos no Livro de Yamamoto e Fuke

Observamos que os autores apresentam em seu texto um pouco da biografia de Galileu, e, sobretudo, os seus feitos como contribuição para a Astronomia e a Ciência de um modo geral.

Identificamos uma seção à HFC, intitulada *Física na História*, em que os autores abordam sucintamente o pensamento de Aristóteles sobre o movimento de queda dos corpos e posteriormente elaboram uma questão, se a afirmação de Aristóteles de que “se os corpos de maior peso chegariam mais rápido ao solo”, está correta. Observamos que para responder a esta questão, os autores apresentam o experimento da torre de Pisa, tal qual como vimos no capítulo 3 relatado por Koyré.

Os autores inserem ao longo do texto a famosa imagem em que Galileu estaria lançando do alto da torre de Pisa dois corpos de massas diferentes e abaixo haveria uma reunião de pessoas observando a realização da experiência.

Todavia, os autores informam que não há evidências de que Galileu tenha feito esta experiência, neste caso, percebemos uma certa correspondência com a narrativa de Koyré, quando menciona que se Galileu nunca fala da experiência de Pisa é porque ele não a fez.

Verificamos no texto a elaboração de uma situação problema proposta ao leitor sobre a queda de dois corpos diferentes, entre eles uma pena e uma caneta. Os autores questionam se as duas chegariam juntas ao solo, tal como foi apresentado no episódio do experimento na torre de Pisa. Em seguida respondem que se o experimento acontecer no vácuo e houver queda livre a resposta sim, porém se existir a resistência do ar, a resposta é não. Percebemos correspondência desta parte do texto com o que Koyré menciona em *Estudos de História do Pensamento Científico* que o fato dos corpos chegarem juntas ao solo “valia fundamentalmente para o caso abstrato do movimento sem a influência do ar, e para o movimento no ar, isto é, no espaço cheio onde não se pode vencer sua resistência, a experiência era de forma totalmente diferente” (KOYRÉ, 1982, p. 204).

Nesta obra verificamos algumas relações de correspondência da reconstrução historiográfica de Galileu e o movimento da queda dos corpos dos nossos referenciais teóricos. Percebemos que embora os autores tenham apresentado o episódio da experiência de Pisa da mesma forma que Koyré mostrou-nos os relatos dos historiadores de Galileu, conseguimos entender a proposta dos autores ao manter essa história, pois logo após o relato do episódio, elaboraram uma situação problema para o leitor refletir sobre o movimento de queda e tirar suas próprias conclusões. Portanto, concluímos que dessa forma, não ficou evidente apenas a história (verdadeira ou não) contada. Outro dado que ressaltamos é o fato de os autores deixarem claro que não existe uma teoria certa ou errada sobre o movimento de queda, levaram em consideração que são visões diferentes de movimentos acontecendo em situações diferentes, como o vácuo e o ar.

Nesta obra, chamamos a atenção apenas (mais uma vez) para inclusão de uma referência na qual correspondam as informações históricas contidas no texto.

3.6 LIVRO DE KANTOR *ET AL.* (2010)

3.6.1 Descrição da Historiografia de Galileu e o Movimento de Queda no Livro de Kantor *et al.* (2010)

Encontramos uma pequena participação de Galileu na Unidade 2 do livro de Kantor *et al.* (2010) intitulado *Toda a Física, hoje e através de sua história*. Na seção *A mecânica de Galileu e Newton inaugura a busca de generalização da ciência moderna*, os autores informam que a ciência moderna e com ela a física, teve início no Renascimento, sobretudo com Galileu Galilei e Isaac Newton, que nos séculos XVI e XVII, foram os pioneiros de uma nova mecânica que, inaugurando a busca de generalização da ciência moderna, unificou as explicações dos movimentos terrestres e celestes.

Na unidade 2 do livro de Kantor *et al.* (2012), encontramos uma seção com o título *Queda livre e lançamentos de projéteis*. No texto desta seção os autores informam que um grande passo para a compreensão das causas do movimento e o comportamento dos corpos que se movem, começou no século IV, na Grécia Antiga.

O estudo sobre o movimento prosseguiu, mas foi no século XVII que ele se tornou uma ciência experimental. Na sequência do texto, os autores abrem uma segunda

Seção com o título *De Aristóteles a Galileu e Newton*. Neste texto os autores mencionam a teoria do movimento desenvolvida por Aristóteles (384 a.C. – 322 a. C).

De acordo com os autores para Aristóteles os movimentos naturais podiam ser explicados como obedecendo a uma tendência de que tudo que existe procura seu lugar natural, determinado pelas esferas dos elementos “terra”, no centro; água, na superfície; ar, que envolvia as esferas anteriores como um cobertor, e o fogo, cercando todas as esferas anteriores. Assim, quanto mais elemento terra um objeto contivesse, maior seria o seu peso e, portanto, mais rápida seria sua queda, pois maior tendência ele teria a aproximar-se do centro da terra. Para Aristóteles esse centro era o centro de tudo, da Terra e do Universo.

Segundo os autores, essas ideias e explicações eram satisfatórias para os físicos e filósofos da época de Aristóteles e levaram 2 mil anos para serem superadas. Somente com o término da Idade Média houve um avanço no conhecimento dos movimentos em geral e da posição dos astros celestes.

Para os autores, o novo ambiente econômico, cultural e social europeu do Renascimento propiciou o surgimento da nova física, com os trabalhos de Galileu Galilei e Isaac Newton.

Na seção seguinte os autores enunciam a *Queda Livre* e contam que uma das descobertas de Galileu foi a de que o tempo de queda, no vácuo, de um objeto largado de certa altura só depende da altura; por exemplo, seja uma pluma ou um martelo, a velocidade de um corpo em queda aumenta cerca de 10 m/s a cada segundo de queda. Os autores apresentam o raciocínio matemático para descrever o intervalo de tempo sucessivo de uma queda, em que o corpo fica mais rápido e percorre maior distância, como mostra o quadro 5.

Quadro 5 - Descrição do movimento de queda em três tempos diferentes

Primeiro segundo	A queda é de 5m, pois a velocidade varia de 0 a 10m/s, ou 5m/s em médias;
Segundo seguinte	A velocidade varia de 10 a 20m/s, uma média de 15m/s, conferindo 15m de queda, com altura total de 20m;

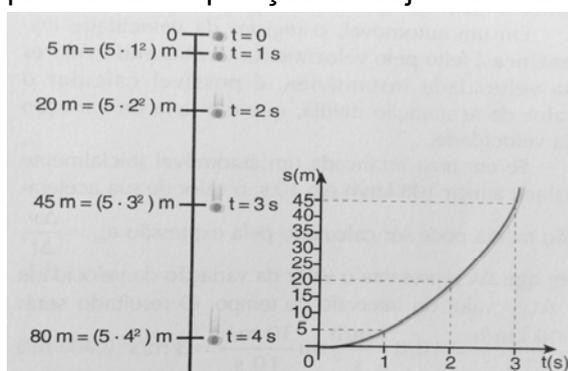
Fonte: Kantor *et al.* (2010)

Os autores informam que hoje, chamamos essa aceleração do movimento de aceleração da gravidade junto à superfície terrestre e, indicando-a por g , e que Galileu percebeu que a sequência numérica das alturas de queda (5m, 20m, 45m, 80m) é proporcional ao quadrado do tempo, o que poderia ser expresso matematicamente como:

$$h = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow h = 5t^2$$

Na sequência, os autores apresentam que quando soltamos um objeto em queda livre, sua velocidade varia com a aceleração constante, denominada aceleração da gravidade e mostram o diagrama e o gráfico que indicam a posição do objeto em função do tempo, como é visto na figura 8.

Figura 8 - Representação do movimento de queda livre por meio de um diagrama e gráfico que indicam a posição do objeto em função do tempo



Fonte: Kantor *et al.* (2010)

Este diagrama e gráfico que representam o raciocínio matemático de Galileu sobre o movimento de queda livre finalizam a seção de *Queda livre* do livro dos referidos autores.

3.6.2 Categorias Presentes no Livro de Kantor *et al.* (2010)

No livro de Kantor *et al.* (2010) foi possível encontrar as categorias *experiência e uso da matemática*.

- a) **Experiência:** quando os autores demonstram que o tempo de queda no, vácuo, de um objeto largado de certa altura só depende da altura, por exemplo, uma pluma e um martelo em queda aumenta 10m/s a cada segundo.
- b) **Uso da matemática:** está presente no texto quando os autores esboçam a representação do movimento de queda livre por meio de um diagrama e gráfico que indicam a posição do objeto em função do tempo

As demais categorias, método científico e experiência mental, não foram identificadas no texto dos autores.

3.6.3 Análise da historiografia de Galileu e do movimento de queda dos corpos no livro de Kantor *et al.* (2010)

Há nesta obra um breve comentário sobre Galileu focado na sua contribuição para a Ciência Moderna com o estudo dos movimentos celestes e terrestres. Verificamos uma certa correspondência do texto com os escritos de Koyré em relação ao movimento aristotélico. Encontramos uma possível influência da NdC no texto dos autores, quando escrevem que “ o novo ambiente econômico, cultural e social europeu do Renascimento propiciou o surgimento da nova Física com os trabalhos de Galileu [...] (KANTOR *et al.* 2010, p. 106).

Observamos que os autores não mencionam no texto o episódio da experiência de Pisa, apenas apresentam o raciocínio matemático do movimento de queda na visão de Galileu. Para demonstrar a lei da queda dos corpos, os autores esboçam um gráfico com as grandezas de distância e tempo de queda, para tanto, apresentam que o tempo de queda de queda de um objeto largado no vácuo depende somente da altura e do tempo.

Verificamos poucos dados históricos e conseqüentemente pouca historiografia de Galileu e do movimento da queda dos corpos nesta obra, principalmente porque pouco se falou de Galileu e da ideia de movimento tanto para Aristóteles quanto para Galileu. Verificamos que houve pouca teorização da lei de queda dos corpos, justamente por haver pouco da história inserida no texto. Portanto, acreditamos esta obra poderia avançar mais em relação aos dados historiográficos de Galileu e do movimento de queda dos corpos.

3.7 DISCUSSÃO GERAL SOBRE A ANÁLISE

De acordo com a seção 1.3 deste trabalho, era esperado que as categorias encontradas nos livros didáticos fossem todas relacionadas à ciência normal, uma vez que o objetivo de um livro didático (conforme Kuhn, 1998, p.19) é justamente persuadir e ensinar a ciência normal.

Diante da nossa análise verificamos que a obra de Oliveira e colaboradores correspondem em vários aspectos com a reconstrução historiográfica do movimento de queda dos corpos e de Galileu. Observamos que esta obra apresenta uma clareza na sequência de informações historiográficas e históricas, haja vista a participação de trechos retirados da própria fonte original, no caso a obra de Galileu *Duas novas Ciências*.

Nesta obra conseguimos perceber que não há informações de rivalidade entre o pensamento de Aristóteles e Galileu, ao contrário, encontramos um texto bem fundamentado e de certa forma correspondendo com a historiografia do movimento na física aristotélica e galilaica apresentada por Koyré. Outro aspecto positivo desta obra corresponde ao trecho que os autores mencionam que Galileu equacionou as leis do movimento, assim ele procurava encontrar uma ordem, um padrão na Natureza que poderia ser escrito em linguagem matemática.

As categorias foram bastante evidentes no decorrer dos textos deste livro didático. A única categoria não encontrada diz respeito ao experimento mental, pois em momento algum foi mencionada experiência imaginária de Galileu, nem ao menos apareceu a historiografia da experiência da torre de Pisa, fato este que difere dos demais livros didáticos analisados.

Em relação às outras obras, verificamos algumas narrativas que valorizam demasiadamente a questão da rivalidade de ideias entre cientistas, neste

caso, as ideias de Aristóteles e Galileu; percebemos que algumas delas não respeitam o contexto histórico, apresentando histórias incompatíveis com a forma de pensar da época; constatamos que não há uma noção de NdC nas narrativas analisadas; observamos também que algumas obras didáticas apresentam conceitos físicos que não condizem com a fonte original da obra de Galileu, entre outros.

Diante dessas considerações, optamos por uma sugestão que é a inclusão de melhores historiografias narradas. Em nossa perspectiva “melhores historiografias” seria uma expressão denotativa de histórias que embora curtas, possam enfatizar grandes pontos de reflexão do contexto histórico que se quer narrar. Neste caso, o material de Oliveira e colaboradores apresentou uma narrativa histórica mais próxima daquela apresentada pela reconstrução historiográfica de Koyré, ela, nos termos de Allchin, possui menos concepções mítico-científicas, em relação aos outros livros analisados. Isso não quer dizer que os outros livros possuem uma narrativa história ruim, pois “Allchin desenvolve estratégias que possibilitam – até mesmo para professores inexperientes em HFC, segundo ele – ensinar aspectos da NdC a partir de qualquer narrativa histórica sobre ciência presente no material didático, independente da veracidade ou da qualidade da história da ciência presente na narrativa” (BOAS, 2012, p.82).

Por esse motivo mesmo os livros que se apresentam diferentes da reconstrução historiográfica de Koyré, ainda assim, têm potencial para o ensino da HFC, tendo em vista que eles, ao serem problematizados pelo professor, poderão ser questionados e interpretados pelos alunos, ao invés de simplesmente aceitos. Para isso, Allchin nos dá dicas²⁰ que possibilitam ao professor ensinar adequadamente a NdC e a HFC, dentro das perspectivas atuais das pesquisas em ensino de ciências, em particular no ensino de física.

Com esta análise, acreditamos, que a obra de Oliveira *et al.* (2010) apresentou uma narrativa de Galileu com um maior embasamento historiográfico, o que vai se distanciando daquilo que é conceituado de concepções mítico científicas, e estaria portanto, apresentando uma concepção de NdC aproximada daquilo que as pesquisas atuais consideram de mais adequadas.

²⁰ “Suspeite da simplicidade. Cuidado com vinhetas. Abrace complexidade e controvérsia. Descarte imagens romantizadas. Não aumente/infle o gênio. Misture celebração com a crítica. Examine a posteriori a ciência feita. Reviva a ciência-em-sua-construção. Explique erros sem desculpa-los” (ALLCHIN, 2003, p. 347).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vimos neste trabalho, que alguns autores discutem sobre a importância que o livro didático desempenha como apoio à prática docente nas atividades de sala de aula, e estes ressaltam que analisar o seu papel promove mudanças em relação ao ensino dos conteúdos nele apresentados.

Embora tenhamos noção da importância dos livros didáticos para o ensino escolar como instrumento de trabalho do professor e ferramenta de estudo dos alunos, alguns estudos traduzem ainda desafios em relação a sua elaboração por apresentarem limitações ou deficiências, principalmente na área que corresponde ao estudo das ciências da natureza.

Essas limitações podem ser justificadas por alguns autores pelo fato dos livros didáticos parecerem privilegiar uma formação acadêmica empírico-indutivista, contribuindo assim para a concepção de uma imagem popular da ciência, associada a um método científico único e acabado.

Vimos que para alguns autores da área de ensino de ciências, estes problemas podem estar relacionados a ausência da concepção de Natureza da Ciência e que várias pesquisas têm analisado a importância de uma discussão a respeito de tal concepção nesta área.

Neste sentido, partimos do pressuposto de que a História e Filosofia da Ciência pode ser um instrumento de análise conceitual bastante útil para o ensino de física, e em especial, ao estudo do movimento de queda, tendo o cientista Galileu Galilei como personagem principal neste estudo. Portanto, nos propomos a investigar se há correspondência na relação entre o Galileu reconstruído historiograficamente a partir dos escritos de Alexandre Koyré e o Galileu apresentado em alguns livros didáticos de Física. O nosso objetivo foi interpretar essa relação e com isso verificar de modo pontual os aspectos nos quais há e nos quais não há correspondência.

Para isso utilizamos os escritos de Koyré, pois estes nos apresenta uma concepção de HFC interessante e diferente do senso comum, a qual nos mostra um Galileu que dá ênfase à experiência mental, isto é, um Galileu que se preocupa com outros aspectos metodológicos além da experiência.

Na sequência elaboramos quatro categorias que acreditamos serem os elementos constituintes do nosso problema de pesquisa, tais como: experiência;

método científico; experimento mental; e uso da matemática. Estas categorias nos possibilitaram analisar rigorosamente os textos de cada obra didática para identificarmos as relações existentes entre o Galileu reconstruído historiograficamente por nossos referenciais teóricos e o Galileu reconstruído nos livros didáticos de física.

Em cada obra encontramos convergências e divergências de ideias com nossos referenciais relacionadas ao tema, Galileu e o movimento da queda dos corpos. Em algumas obras verificamos avanços na historiografia apresentada e em outras, percebemos certas reinvenções históricas, ou seja, ideias ou teorias sobre o movimento de queda elaboradas provavelmente pelos próprios autores; além de não encontrarmos referências das fontes históricas ou historiográficas na maioria das obras analisadas. Pressupomos que estes referidos fatos venham a ser um dos fatores pelos quais ainda exista dificuldade de implementar a proposta de História e Filosofia da Ciência no ensino e em especial, no ensino de física.

Verificamos, portanto, que pelo menos uma obra, como a de Oliveira e colaboradores, está em pleno acordo com os nossos referenciais, pois a mesma apresentou a historiografia de Galileu e do movimento de queda de forma satisfatória ao que foi discriminado nos escritos historiográficos de Alexandre Koyré. Percebemos nesta mesma obra a existência de referências bibliográficas, inclusive os autores citam diretamente a obra *Duas Novas Ciências* de Galileu sob a tradução de Letizio Mariconda e Pablo Mariconda (1987), mostrando ao leitor trechos do diálogo dos personagens criados por Galileu no referido livro.

Esclarecemos que o nosso trabalho não teve o propósito de julgar a qualidade da historiografia apresentada nas obras didáticas, mas sim, seguiu uma linha de pesquisa que consiste em explorar as potencialidades dos livros didáticos e que visam problematizar a questão da importância do papel de HFC no ensino de ciências, como podemos encontrar nos trabalhos do grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade de Estadual de Londrina, sob a orientação do Professor Doutor Marcos Rodrigues da Silva.

Neste sentido acreditamos, portanto, que o estudo de fontes historiográficas aliada aos conteúdos científicos pode contribuir de forma positiva e significativa para a implementação da proposta de História e Filosofia da Ciência no ensino de física, pois pode levar o aluno a compreender a forma pela qual ocorre a

construção do conhecimento e com isso refletir sobre determinado assunto por meio do contexto histórico, filosófico e social em que a lei ou teoria foi originada e conseqüentemente pode desenvolver sobre este uma consciência crítica sobre tal conhecimento estudado, como é o exemplo da experiência da queda dos corpos na torre de Pisa.

Finalizo este trabalho com a perspectiva de um avanço nesta mesma área de pesquisa para um futuro doutorado, pois considero que este trabalho me propiciou algo muito além de uma pesquisa, que foi a de contribuir para minha mudança de visão sobre a Ciência, Ensino e principalmente o meu olhar para Galileu e seus feitos científicos.

REFERÊNCIAS

ALCCHIN, Douglas. Scientific Mith-Conceptions. **Science Education**. v.87, n.3, p. 329-351, 2003.

BARBOSA, L. N. S. C. **Uma reconstrução histórico-filosófica do surgimento das geometrias não euclidianas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina.

BIZZO, N. Reflections upon a national program assessing Science textbooks: what is the importance of content in Science education? **Ioste Symposium**, 10. Foz do Iguaçu, 2002. p. 710-720.

BOAS, A.V. **A natureza da ciência no ensino de ciências conforme artigos publicados em periódicos nacionais e o seu ensino por meio de narrativas históricas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina.

BOAS, A. V.; SILVA, M. R. da; PASSOS, M. M.; ARRUDA, S. M. Contribuições da História e da Filosofia da Ciência para a formação inicial de professores: um estudo de artigos publicados na revista *Investigações em Ensino de Ciências* entre 1996 e 2009. **Experiências em Ensino de Ciências**. Porto Alegre: UFRS, 2012. 20p.

BRASIL. Decreto nº 91.542. **Programa Nacional do Livro Didático**. Disponível em < <http://www2.camara.gov.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-91542-19-agosto-1985-441959-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso: 11 maio 2012.

BRASIL. **Guia de Livros Didáticos: PNLD 2012: Física**. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação. **Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação**. Disponível em: www.fnde.gov.br/index.php/resolucoesanteriores/1232.../download. Acesso em: 01 abr.2012.

BRASIL. Ministério da Educação. **Programa Nacional do Livro Didático (PNLD)**. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/index.php?Itemid=668&id=12391&option=com_content&view=article> Acesso: 11 maio 2012.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução: Raul Filker. Editora Brasiliense, 1993.

D'AMBROSIO, U. A História da Matemática: questões historiográficas e políticas e reflexos na Educação Matemática. In: BICUDO, M. A. V. (Org.). **Pesquisa em Educação Matemática: concepções e perspectivas**. São Paulo: Editora UNESP, 1999, p.97-115.

DELIZOICOV, Demétrio, ANGOTTI, José André, PERNAMBUCO, Marta Maria, **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DOCA, R. H; BISCUOLA, G. J; BÔAS, N. V. **Física 1**. 1ª edição, São Paulo: Saraiva, 2010.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: SILVA, C. C. (Org.) **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. p. 3-21.

EVANS, P. **Motivação**. Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1976.

FRISON, M. D; VIANNA, J ; CHAVES, J. M; BERNARDI, F.N. **Livro Didático como Instrumento de Apoio para Construção de Proposta de Ensino de Ciências Naturais**. In: VII ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis – SC, 2009. Anais do VII ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009.

FUKE, L.F; YAMAMOTO, K. **Física para o Ensino Médio**. 1ª ed., São Paulo: Saraiva, 2010.

GALILEI, G. **Duas novas ciências**. Tradução: L. Mariconda e Pablo Rúben Mariconda. 2. ed. São Paulo: Nova Stella Editorial/Instituto Italiano di Cultura, 1987.

GALILEI, G. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. Tradução Pablo Rubén Mariconda. São Paulo: Discurso Editorial, 2001.

GIL-PÉREZ, D. et al. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência&Educação**, 7(2), 125-153.

HENRIQUE, A. B; ANDRADE de, V. F. P; L´ASTORINA, B. Discussões sobre a natureza da ciência em um curso sobre a história da Astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA**, n.9, p. 17-31, 2010.

KANTOR, C.A. [et al.]. **Quanta física**. 3º ano: Ensino Médio. 1ª ed., São Paulo: Editora PD, 2010.

KOYRÉ, Alexandre. In: **Wikipédia: a enciclopédia livre**. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Alexandre_Koyr%C3%A9 . Acesso em: 19 nov. 2011.

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

KOYRÉ, A. **Estudos de História do Pensamento Científico**. Ed. UnB: Brasília, 1982.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 7 ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

MACEDO, C. C.SILVA, L. F. Contextualização e Visões de Ciência e Tecnologia nos Livros Didáticos de Física Aprovados pelo PNLEM. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.3, n.3, p.1-23, nov. 2010 ISSN 1982-5153.

MATHEUS, Renato Fabiano. **A Estrutura das Revoluções Científicas: resumo crítico detalhado.**

ABR/2005. Disponível em:

<<http://www.rfmatheus.com.br/doc/revolucaocientificav2.3.pdf>>. Acesso em: <4/6/2010>.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a Tendência Atual de Reaproximação. Tradução de Claudia Mesquita de Andrade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v.12, n.3, p. 164-214, Florianópolis,1995.

PEDUZZI, L.O.Q. Física Aristotélica: por que não considerá-la no Ensino da Mecânica? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v.13, n.1: p.48-63, Florianópolis,1996.

MIGUEL, A. **Três Estudos sobre História e Educação Matemática**. 1993. 274 p. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa Teresinha; OSTERMANN, Fernanda. História e epistemologia da Física na licenciatura em Física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a Natureza da Ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo: SBF, v.29, n.1, p. 127-134, 2007.

NÚÑEZ, I. B.; RAMALHO, B. L.; SILVA, I. K.P.;

CAMPOS, A. P. N. **A Seleção dos Livros Didáticos: um saber necessário ao professor. O caso do ensino de ciências**. Disponível em:

<http://www.rioei.org/deloslectores/427Beltran.pdf>. Acesso em 01 abr.2012.

OLIVEIRA, M. P.P. [et al.]. **Física em contextos: pessoal, social e histórico**. Movimento, força e astronomia. v. 1. 1ª ed., São Paulo: FTD, 2010.

OLIVEIRA, V. D. R. B. **As Dificuldades da Contextualização pela História da Ciência no Ensino de Biologia: o Episódio da Dupla-Hélice do DNA**. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

PENEREIRO, J. C. Algumas considerações de Galileo a respeito das teorias da semelhança física, da resistência dos materiais e das flexões. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 27, n. 2: p. 288-312, Florianópolis, 2010.

PRETTO, N. D. L. **A Ciência nos livros didáticos**. Campinas: Editora da Unicamp, 1985.

PANARARI-ANTUNES, R. S; DEFANI, Marli Aparecida; GOZZI, Maria Estela. **Análise de Atividades Experimentais em Livros Didáticos de Ciências**. IX Congresso Nacional de Educação – EDUCERE. PUCPR, 2009.

Popper, Karl R. **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora da UnB. 1980.

ROSA, S. R. G; SILVA, M. R. A História da Ciência nos Livros Didáticos de Biologia do Ensino Médio: uma análise do conteúdo sobre o episódio da transformação bacteriana. **ALEXANDRIA**. v.3, n.2, p.59-78, jul.2010.

SANT'ANNA, B. [at al.]. **Conexões com a Física**. 1ª edição, São Paulo: Moderna, 2010.

SANTOS, Cecília Helena Vechiatto dos. **História e Filosofia da Ciência nos Livros Didáticos de Biologia do Ensino Médio: Análise do conteúdo sobre a Origem da Vida**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, PR.

SILVA, C.X. da; BARRETO FILHO, C. **Física aula por aula: mecânica**. v.1 1ª ed., São Paulo: FTD, 2010.

VASCONCELOS, S. D. e SOUTO, E. O livro didático de ciências no ensino fundamental – Proposta de critérios para análise do conteúdo zoológico. **Ciência & Educação**, v.9, n.1, 2007.

ZAMBERLAM, E.S.J. **Contribuições da História e Filosofia da Ciência para o Ensino de Evolução Biológica**. 2008. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) Universidade Estadual de Londrina, PR.