

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA E A
MATEMÁTICA

BRUNA KARINY DA SILVA

**A RELAÇÃO FORÇA-MOVIMENTO EM UM CONTEXTO
HISTÓRICO E SOB A ANÁLISE DO PNL D**

MARINGÁ

2017

BRUNA KARINY DA SILVA

**A RELAÇÃO FORÇA-MOVIMENTO EM UM CONTEXTO
HISTÓRICO E SOB A ANÁLISE DO PNLD**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves

MARINGÁ

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S586r Silva, Bruna Kariny da
A relação força-movimento em um contexto histórico e sob a análise do PNLD / Bruna Kariny da Silva -- Maringá, 2017.
71 f. : il., color., figs., quadros., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação Para a Ciência e a Matemática, 2017.

1. Ensino de física. 2. Força mecânica. 3. História da ciência. 4. Livro didático. 5. PNLD - Programa Nacional do Livro Didático. I. Neves, Marcos Cesar Danhoni, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Educação Para a Ciência e a Matemática. III. Título.

CDD 21.ed. 530.071


AHS

BRUNA KARINY DA SILVA

**A relação força-movimento em um contexto histórico e sob a
análise do PNL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em *Ensino de Ciências e Matemática*.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. ~~Marcos Cesar Danhoni~~ Neves
Universidade Estadual de Maringá – UEM



Profa. Dra. Fernanda Peres Ramos
Universidade Federal Tecnológica do Paraná – UTFPR



Profa. Dra. Polonia Altoé Fusinato
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Maringá, 23 de Fevereiro de 2017.

Dedico este trabalho:

À minha família, pelas oportunidades oferecidas e pelo incentivo aos estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelas oportunidades, paciência e incentivo aos estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves, pelas contribuições à minha formação acadêmica, e também pelas considerações à pesquisa desenvolvida neste trabalho.

Aos meus colegas de turma do mestrado, especialmente Ederson Carlos Gomes, que me disponibilizou os livros didáticos para análise.

A todos que de alguma forma me ajudaram no decorrer destes anos, meu agradecimento.

“O único meio de criar homens livres é educá-los, outro modo ainda não se inventou, e com certeza nunca se inventará.”

(Olavo Bilac)

A RELAÇÃO FORÇA-MOVIMENTO EM UM CONTEXTO HISTÓRICO E SOB A ANÁLISE DO PNLD

RESUMO

Com este estudo, nos propomos a responder as seguintes problemáticas: “Qual o conceito de força mecânica ensinado pelos livros didáticos de Física? Este conceito está de acordo com o proposto pelo paradigma newtoniano?”, tendo como objeto de estudo seis livros aprovados no PNLD de Física de 2015. A metodologia utilizada para estudo dos dados foi a análise de conteúdo de Bardin (1977), e as categorias de análise foram definidas a priori, tendo como base uma revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento do conceito de força, de Aristóteles a Newton, abordando principalmente, além dos cientistas já citados, Philoponus, Buridan e Descartes. Concluimos, com esta análise, que todas as coleções verificadas apresentaram elementos configurativos da categoria Cartesiana-Newtoniana, e que apenas uma delas definiu primeiramente o conceito de quantidade de movimento para depois introduzir o conceito de força a partir dele, de modo análogo ao que é estabelecido no **Principia** de Newton. Outra conclusão importante foi a verificação de que, na maioria das coleções, encontramos exemplos que discutem a influência da força de atrito no movimento de um corpo. Esperamos que esta pesquisa contribua significativamente para o trabalho do professor em sala de aula, propiciando reflexões conscientes no uso deste material didático.

Palavras-chave: Ensino de Física. Força mecânica. História da Ciência. Livro didático. PNLD.

THE RELATIONSHIP BETWEEN FORCE-MOTION IN A HISTORICAL CONTEXT AND UNDER PNLD ANALYSIS

ABSTRACT

This study aims to answer the following questions: “What is the concept of mechanical force taught by physics textbooks? Does this concept follow the Newtonian paradigm?”, by means of the analysis of six books approved in the Physics PNLD (acronym for *Programa Nacional do Livro Didático*, Brazilian governmental program to provide free didactic books) of 2015. The methodology used for data analysis was the content analysis based on Bardin (1977). Therefore, the analysis categories were defined previously, based on a bibliographical revision about the development of the force concept, from Aristotle to Newton. In addition to the scientists already mentioned, Philoponus, Buridan and Descartes also have important contributions to this research. After this analysis, it was possible to conclude that all the verified collections presented configurative elements of Cartesian-Newtonian’s category, and only one of them defined the concept of quantity of motion before the force concept, according to the definitions from Newton’s **Principia**. Other significant result was that in most of the collections, examples that discuss the influence of friction force in the body motion were also found. Thus, we believe that this research can contribute significantly to teacher’s work in the classroom, providing conscious reflections on the use of this didactic material.

Keywords: Physics Teaching. Mechanical force. Science History. Textbook. PNLD.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 LIVRO DIDÁTICO	13
2.1 O Papel do Livro Didático no Ensino de Ciências	13
2.2 Programa Nacional do Livro Didático (PNLD)	15
2.3 PNLD-Física2015	17
3 RELAÇÃO ENTRE FORÇA E MOVIMENTO	19
3.1 Aristóteles	19
3.2 Philoponus-Buridan	22
3.3 Descartes-Newton	25
3.3.1 Galileu e Kepler	25
3.3.2 Descartes	27
3.3.3 Newton	30
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
4.1 Análise de conteúdo	35
4.1.1 Etapas da Análise de Conteúdo	36
5 ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO PNLD 2015	39
5.1 Fases da Análise dos Livros Didáticos	39
6 APONTAMENTOS METODOLÓGICOS PARA O ENSINO DA SEGUNDA LEI DE NEWTON	62
7 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física é uma atividade muito antiga, tanto quanto a própria ciência Física. Em uma época em que não existiam os livros didáticos da forma como os conhecemos hoje, o conhecimento era ensinado e discutido por meio da oralidade, anotações, cartas e livros escritos pelos próprios cientistas. Isaac Newton, por exemplo, antes de publicar seu **Principia**, anotou, em um caderno, todas as suas observações, impressões e ideias a respeito de seus estudos. Este material foi denominado *Waste book*, e era frequente a troca de cartas com outros cientistas, como Boyle, a fim de discutir teorias, conceitos e argumentos científicos (NEWTON, 1990).

Notamos que estas cartas, ou cadernos de anotações, eram extremamente relevantes naquela época, pois na ausência da imprensa ou de qualquer outro tipo de tecnologia de informação mais moderna, a escrita em papel constituía a maneira mais prática de divulgação do conhecimento científico. Podemos perceber que ainda nos dias de hoje, apesar do advento da Internet, os livros continuam sendo muito relevantes para o acesso à produção científica, principalmente os livros didáticos.

Gaspar (2004) coloca que os primeiros livros didáticos de Física surgiram em meados do século XIX, e Scaff (2004, apud BLINI, 2010) complementa que, no Brasil, esses materiais passaram a ter uma importância maior no final da década de 1920, com o aumento do número das escolas públicas motivada pela grande expansão da indústria, decorrente da Revolução Industrial. Blini (2010) argumenta que, em decorrência de alguns acontecimentos na área de ensino, como a desqualificação dos cursos de formação docente e a precariedade das escolas públicas, o livro didático deixou de ser apenas um instrumento pedagógico para tornar-se o alicerce do currículo.

Atualmente, a maioria dos estudantes tem acesso ao conhecimento científico única e exclusivamente por meio dos livros didáticos, e os professores também se fundamentam nestes materiais ao prepararem suas aulas. Uma pesquisa realizada com professores de Física da cidade de Maringá e região, por exemplo, evidenciou que as representações sociais de conceitos físicos destes professores estavam ancoradas nas representações da Física contida nos livros didáticos (BARBOSA, 2007). Estes fatores reforçam a necessidade de qualidade nos livros, não somente na parte gráfica, mas principalmente na exposição teórica dos conceitos e da visão epistemológica e histórica de ciência desenvolvida por eles.

Em relação aos conceitos científicos, um levantamento bibliográfico realizado por Gomes (2008) em sua dissertação, evidenciou que, para muitos autores, os livros didáticos apresentam inferências equivocadas dos conceitos científicos, como a ideia de velocidade nula se a força for nula, ou força proporcional à velocidade, na relação força-movimento. Como exemplo, o autor cita o seguinte trecho retirado de um livro didático: “carros e barcos movem-se devido à força do motor que lhes imprime uma velocidade [...]” (SILVEIRA; TERRAZAN, 1996, p. 508, apud GOMES, 2008, p. 17). De acordo com Gomes (2008), o trecho citado não implica diretamente na relação força proporcional à velocidade, mas poderia induzi-la ou reforçá-la. Por este motivo, ele aconselha que os autores, ao escreverem seus textos, sejam mais cautelosos com a linguagem utilizada, e sugere que a passagem citada seja reescrita, com o intuito de evitar possíveis interpretações equivocadas. Sugere: “os carros e barcos movem-se contra a resistência do ar e da água devido à força do motor que lhes imprime uma aceleração variando sua velocidade [...]” (GOMES, 2008, p. 17-18). Para Gomes, o trecho reescrito dessa forma sugere uma proporcionalidade entre força e aceleração, relacionando, ainda, a necessidade de uma força para manter o movimento com a resistência oferecida pelo meio e que deve ser vencida (2008). Esta reescrita possibilita ao estudante uma compreensão mais adequada do conceito de força, que está mais próximo do conceito definido por Newton. Escrito da outra forma, porém, poderia confundir o aluno, fazendo com que ele tivesse um conceito de força semelhante ao aristotélico, por exemplo.

Por estes comentários, fica claro que, enquanto instrumento pedagógico essencial para alunos e professores, o livro didático deve ser muito bem pensado e planejado, a fim de não induzir a equívocos, proporcionando um ensino e aprendizagem de qualidade, fato este que justifica seu estudo e análise.

Com base no exposto, desenvolvemos neste trabalho uma pesquisa exploratória, uma vez que realizamos um levantamento bibliográfico que nos permitiu a análise e entendimento de nosso tema de estudo, no caso o ensino de Física e os livros didáticos (SEVERINO, 2007). Temos como objetivo geral investigar e identificar o conceito de força mecânica presente nos livros didáticos de Física do PNLD 2015, e se tal conceito está de acordo com o significado aceito pela comunidade científica para o paradigma newtoniano. Entendemos que a verificação destes materiais é de muita relevância, uma vez que se trata do principal veículo de disseminação dos conceitos científicos. Por este motivo, é importante que os professores, que utilizarão este material em sala de aula, tenham consciência do real significado dos conceitos que serão ensinados, no caso específico desta pesquisa, o significado do conceito de força mecânica. Pretende-se ainda, investigar os conceitos de força anteriores ao estabelecido

pelo paradigma newtoniano, com o objetivo de descobrir se há presença de elementos da história da ciência concernentes ao conceito de força nos materiais didáticos analisados; por último, pretendemos sugerir apontamentos para o trabalho do professor em sala de aula sobre este assunto.

Com este estudo, nos propomos a responder as seguintes problemáticas: “Qual o conceito de força mecânica ensinado pelos livros didáticos de Física? Este conceito está de acordo com o proposto pelo paradigma newtoniano?”. Nosso objeto de estudo são seis livros aprovados no PNLD de Física de 2015. A metodologia utilizada para estudo dos dados foi a Análise de Conteúdo de Bardin (1977), e as categorias de análise foram definidas a priori, tendo como base uma revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento do conceito de força, de Aristóteles à Newton, abordando, principalmente, além dos cientistas já citados, Philoponus, Buridan e Descartes.

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos, além desta introdução. No primeiro capítulo, explanamos de forma breve sobre a importância do livro didático para o ensino de Física, a política pública de distribuição de livros e sobre o último programa de distribuição de livros de Física para o Ensino Médio, que ocorreu em 2015. No segundo capítulo, fazemos uma revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento teórico do conceito de força, e, em seguida, apresentamos a metodologia de análise de dados no terceiro capítulo e, no quarto, a análise do material selecionado. No capítulo quinto, apresentamos alguns apontamentos que consideramos importantes no ensinamento da segunda lei de Newton, que emergiram da análise realizada no capítulo anterior. Por último, temos a conclusão, na qual fazemos um breve resumo da proposta de pesquisa, da análise e dos resultados obtidos.

Esperamos que os resultados desta pesquisa possam contribuir de maneira significativa para a área de pesquisa em Ensino de Ciências, e, ainda, para que os autores de livros didáticos, ao escreverem suas obras, tenham consciência das implicações positivas e/ou negativas de suas exposições. Que ao utilizarem a história da ciência, para introduzir ou explicar os conceitos científicos, o façam com extremo cuidado, a fim de que a história não seja contada apenas por curiosidades, grandes nomes, ou que vincule uma visão distorcida da atividade científica.

2 LIVRO DIDÁTICO

Dividimos este capítulo em três partes, que estão identificadas por subtítulos. Na primeira parte, fazemos uma breve contextualização sobre o papel desempenhado pelos livros didáticos no ensino de Ciências, tendo como base uma revisão bibliográfica em livros, artigos e dissertações sobre este assunto. Em seguida, apresentamos uma recapitulação histórica sobre a política pública de distribuição de livros no Brasil, e, por último, abordamos o Programa Nacional do Livro Didático para a disciplina de Física do ano de 2015. As informações apresentadas nas duas últimas partes foram colhidas no site do Ministério da Educação (www.fnde.gov.br) e no Guia de livros didáticos 2015.

2.1 O papel do livro didático no ensino de Ciências

A Física como disciplina científica integra o currículo básico do Ensino Médio, e seu estudo se alicerça no fato de o conhecimento científico ser parte integrante da cultura humana, refletindo os diferentes modos de interpretação dos fenômenos naturais (PRETTO, 1995).

A ciência Física se apresenta à comunidade ainda de forma limitada e fragmentada; muitas vezes este conhecimento é apresentado de modo descontextualizado, a-histórico, e como uma verdade inquestionável, por parte da mídia televisiva, livros e revistas (PRETTO, 1995; GOMES, 2008).

No que diz respeito à sua divulgação escolar, algumas pesquisas mostram que ela, na maioria das vezes, é realizada com base exclusiva nos livros didáticos, que são materiais de apoio para os alunos, mas também para o professor que os utiliza na preparação de suas aulas (BARBOSA, 2007; FRISON *et al*, 2009 ; PRETTO, 1995).

Nelson Pretto (1995), pesquisador e professor da área de Ensino de Ciências, explica que o livro didático tem um papel importante na educação, porque este tem a função de modelar o ensino que ocorre nas escolas. Isto porque é comum uma prática docente realizada de acordo com as sequências de conteúdos propostas pelos livros. Assim, o material didático não se configura apenas na forma de texto para o aluno, mas também como livro de exercícios, guia do professor e manual de laboratório.

Atualmente, podemos considerar o livro didático como o alicerce da educação pública, e a sua política de distribuição, como uma das mais fortes. Antes de serem enviados para as escolas para a escolha pelos professores, esses materiais passam por um processo árduo de análise, que envolve profissionais da educação da área superior. No entanto, apesar desta

rigorosa inspeção, pesquisas na área de Ensino, em especial Ensino de Ciências, revelam que muitos destes materiais apresentam erros (GOMES, 2008; FRISON *et al*, 2009).

Pretto (1995) alerta os profissionais da educação a respeito do uso dos livros didáticos em sala de aula, porque, de acordo com o autor, é comum encontrar nestes materiais erros conceituais e epistemológicos. A a-historicidade da ciência, por exemplo, se manifesta nos livros pelo fato de que “a experimentação é sempre colocada como a palavra final para a comprovação de uma teoria”, e, muitas vezes, corresponde a uma inversão do processo histórico do conhecimento científico (PRETTO, 1995, p.79).

Outro ponto relevante apontado no estudo de Pretto (1995) é que os livros são utilizados como instrumentos de ideologia, com o objetivo de que determinada ideia seja aceita e vinculada no meio social. Nas palavras do autor:

Percebemos que os livros didáticos de Ciências nada mais são do que instrumentos para que a ideologia dominante seja passada aos alunos durante o período escolar, seja quando a forma de apresentação do conteúdo é analisada ou quando nos preocupamos com este conteúdo especificamente. Uma ideologia que não é apenas um conjunto de ideias apresentada mais ou menos arbitrariamente para ocultar a realidade do sistema, mas que cria condições concretas para que a “massa” possa assimilar tais ideias, permitindo o funcionamento e a reprodução do sistema como um todo (PRETTO, 1995, p.83).

Pelo exposto, fica claro que o livro didático é um recurso essencial para o aluno e o professor, e que podemos encontrar algumas dificuldades atreladas ao seu uso, como um possível engessamento do currículo, erros conceituais, epistemológicos e/ou históricos (PRETTO, 1995). Acreditamos que essas são dificuldades difíceis de serem superadas na totalidade, uma vez que estão imersas em um sistema político, econômico, social e educacional maior e mais complexo, que, de alguma forma, limita o trabalho do professor. No entanto, confiamos que estas dificuldades possam ser amenizadas pelo professor, uma vez que ele tenha formação e informação para realizar análises críticas do conteúdo presente nos instrumentos didáticos que serão utilizados por ele. Por este motivo, consideramos fundamentais as pesquisas na área de Ensino, porque elas podem alicerçar o trabalho desenvolvido pelo professor na tentativa de contornar os problemas existentes.

2.2 Programa Nacional do livro didático (PNLD)

O Programa Nacional do livro didático (PNLD) é um programa federal de distribuição de livros para a rede pública de ensino. As primeiras iniciativas para que livros, dicionários e obras literárias chegassem às escolas públicas tiveram início no ano de 1929, com a criação do Instituto Nacional do Livro (INL), cujo principal objetivo era a legitimação e produção destes materiais. Este programa, como nos relata Blini (2010), só começou a dar frutos cinco anos após sua criação, com a edição de obras literárias, elaboração de uma enciclopédia e de um dicionário nacional.

No ano de 1938, o governo, por meio do Ministério da Educação (MEC), instituiu a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD), cujo principal objetivo era estabelecer a primeira política de legislação e circulação do livro didático no país. No ano de 1945, a legislação sobre as condições de produção, importação e utilização do livro didático foi consolidada.

Em 1966, foi feito um acordo entre o MEC e a Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional (USAID), que permitiu a criação da Comissão do Livro Técnico e Didático (COLTED), com o objetivo de coordenar as ações referentes à produção, edição e distribuição do livro didático. Esse acordo foi importante porque permitiu a continuação do Programa Nacional do livro didático (PNLD).

Em 1970, com a criação da Fundação Nacional de Material Escolar (FENAME), o material didático passou a ser produzido e distribuído às escolas públicas em coedição com as editoras nacionais, com recursos do INL. A partir do ano de 1976, o Estado passou a financiar os livros, com uma novidade importante: os materiais coeditados passaram a ser selecionados por especialistas da área através de instrumentos de avaliação desenvolvidos por estes profissionais, prática que acontece até os dias de hoje.

A Fundação de Assistência ao Estudante (FAE), passou a assumir o programa do livro didático no ano de 1983, no lugar da FENAME, e finalmente, no ano de 1985 temos o estabelecimento do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), em substituição ao Programa do Livro Didático para o Ensino Fundamental.

Com o estabelecimento do PNLD, mudanças ocorreram no programa, como a extinção de livros de uso único, ou seja, os livros distribuídos passaram a ter um prazo de uso maior; estes materiais foram distribuídos para todos os alunos das escolas públicas de primeira à

oitava série do primeiro grau, e os professores puderam participar da escolha dos materiais didáticos.

De 1997 até os dias de hoje, o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, (FNDE) é o órgão atrelado ao MEC responsável pela execução do PNLD. A principal função do FNDE é captar recursos financeiros e destiná-los ao financiamento do ensino, pesquisas e projetos voltados ao Ensino Fundamental.

No que diz respeito à distribuição de livros didáticos para o Ensino Médio, somente em meados de 2005 o FNDE desenvolveu o Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM). No início deste programa, somente os livros de Língua Portuguesa e Matemática foram avaliados (2004) e distribuídos (2005) para os alunos da primeira série do Ensino Médio das regiões Norte e Nordeste, e em 2006, o MEC ampliou a distribuição dos livros destas duas disciplinas para todo o Brasil: regiões Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

De acordo com informações obtidas na Apresentação do Guia do livro Didático (2015), por meio do PNLEM em 2007, livros didáticos de Biologia também foram avaliados e distribuídos para os alunos das escolas públicas de Ensino Médio de todo o país. No ano de 2008, ocorreu a inserção de livros de outras disciplinas como, Física, Química, História e Geografia.

Entretanto, apesar dos esforços em fornecer com regularidade livros gratuitos para rede pública de ensino, somente no ano de 2010 é que temos formalmente estabelecido um decreto que legaliza esta intenção. O decreto 7084 de 27/01/2010 regulamentou a avaliação e distribuição de materiais didáticos para toda a educação básica, garantindo a frequência de sua distribuição. De acordo com o artigo 6º e o parágrafo segundo, o atendimento pelo Programa Nacional do Livro Didático será feito alternadamente:

§2º O processo de avaliação, escolha e aquisição das obras dar-se-á de forma periódica, de modo a garantir ciclos regulares trienais alternados, intercalando o atendimento aos seguintes níveis de ensino:

I- 1º ao 5º ano do Ensino Fundamental;

II- 6º ao 9º do Ensino Fundamental;

III- Ensino Médio (BRASIL, 2015, p.6).

A partir do edital de 2012, o PNLEM foi incorporado ao PNLD, ainda sendo executado até os dias de hoje pelo FNDE e pela Secretaria da Educação Básica (SEB/MEC). Nesta edição, houve um ganho considerável de disciplinas que passaram a serem atendidas pelo referido programa, são elas: Língua Portuguesa, Matemática, Língua Estrangeira Moderna (Inglês e Espanhol), História, Geografia, Sociologia, Filosofia, Biologia, Física e

Química. Quase todas as disciplinas que compõem a grade curricular do Ensino Médio, com exceção de Arte, que foi integrada ao programa em 2015, e Educação Física, que ainda não faz parte do programa. Para todas as disciplinas, exceto Sociologia e Filosofia, as coleções analisadas e aprovadas são compostas de três volumes separados, uma para cada ano do Ensino Médio, já para as duas exceções, o livro é de volume único, contemplando os conteúdos curriculares dos três anos do Ensino Médio. Além do atendimento aos alunos do Ensino Médio regular, o PNLD também atende os alunos da educação especial. O programa distribui, para alunos com deficiências visuais, livros em Braile de Língua Portuguesa, Matemática, Ciências, História, Geografia e dicionários (em: < portal.mec.gov.br/pnld/apresentação>. Acesso em: 22/08/2016).

2.3 PNLD – Física 2015

Antes de seu envio para as escolas públicas para serem escolhidos pelos professores, todos os livros didáticos passam pela avaliação criteriosa de especialistas, que, de acordo com critérios definidos a priori, decidirão se o livro tem condições ou não de ser utilizado como material de ensino. Em caso positivo, os livros compõem um caderno de resumos chamado de Guia de Livros Didáticos, cujo objetivo é facilitar a escolha pelo professor, uma vez que, neste Guia, o docente terá acesso, de forma muito rápida e objetiva, a todas as informações de relevância de cada obra selecionada.

O Guia de Livro Didático de Física, PNLD 2015, é o terceiro, desde que o PNLEM foi instituído. Desde então, o percentual de aprovação das obras submetidas passou de 27%, em 2009, para 70% no último programa (2015), o que sugere uma preocupação dos autores com a qualidade de suas obras, e com o atendimento ao edital do programa (BRASIL, 2015).

Os livros de Física que compõem o edital 2015 passaram por um processo rigoroso de seleção. De acordo com informações obtidas no Guia de Livros, inicialmente, cada coleção foi analisada por dois avaliadores de forma independente. Esses avaliadores são docentes e pesquisadores da área de Física, bem como da área de Ensino de Física (BRASIL, 2015).

As avaliações individuais de cada coleção foram confrontadas e discutidas entre os avaliadores, a coordenação de área, a coordenação adjunta de área e a representação da comissão técnica do PNLD 2015, com o objetivo de esclarecer eventuais dúvidas e também para que se pudesse estabelecer com confiança um parecer final, de aprovação ou reprovação das obras. É importante ressaltar que não houve qualquer tipo de identificação dos autores das

obras, nem das editoras durante as avaliações individuais. Tal medida é importante porque descarta possíveis influências na escolha. Após esse árduo processo, foram elaborados os pareceres e as resenhas das obras recomendadas, e os pareceres das obras excluídas.

A comissão de escolha salienta que, apesar de serem distintas em termos de organização e sequência de conteúdos, de proposta didático-pedagógica e de fundamentação teórico-metodológica para o tratamento dos conteúdos, todas as obras recomendadas apresentam qualidade suficiente para servir de material de apoio a professores e alunos. Do total de 20 coleções analisadas, 14 foram selecionadas e compõem o caderno de resumos PNL D 2015.

3 RELAÇÃO ENTRE FORÇA E MOVIMENTO

Neste capítulo, abordamos a evolução conceitual de força, de Aristóteles à Newton, passando por Philoponus, Buridan e Descartes. Também abordamos rapidamente as contribuições teóricas de Kepler e Galileu, por entendermos que são essenciais para a definição de força do paradigma hoje chamado newtoniano. Esta revisão bibliográfica é importante para o trabalho, porque, a partir dela, definimos as categorias de análise correspondentes a cada subtítulo, a saber: Aristotélica, Philoponus-Buridan e Cartesiana-Newtoniana. Decidimos agrupar Philoponus e Buridan em uma única categoria, por entendermos que ambos possuem um conceito de *impetus* semelhante, e Descartes e Newton em outra, porque em nosso entendimento, o estabelecimento da teoria cartesiana para o movimento, foi essencial para que Newton conseguisse formular suas leis. Para facilitar a análise dos livros didáticos, para cada uma das categorias citadas acima, elencamos as principais características do conceito de força, que servirão de parâmetros na análise dos materiais didáticos selecionados.

3.1 Aristóteles

Aristóteles (384-322 A.C) formulou teorias de explicação para fenômenos, especialmente físicos, como aqueles relacionados à força e ao movimento, que podem ser consideradas muito bem articuladas e coerentes com as situações observadas rotineiramente. Tal fato, sem dúvidas, contribuiu para que suas teorias se estabelecessem por mais de dois mil anos, influenciando inúmeros cientistas, que mesmo não concordando com ele, não conseguiam desvincular-se de seus ensinamentos. De acordo com Franklin (1976), praticamente todos os trabalhos concluídos na Idade Média tinham dependência ou relação com a Física aristotélica.

Cohen (1967) afirma que a Física aristotélica tinha como pilar dois argumentos: a imobilidade da Terra e a distinção entre a Física dos quatro elementos terrestres (ar, água, terra e fogo) e a Física do quinto elemento celeste (éter). Aristóteles considerava o movimento circular como perfeito, e a perfeição não existia no seu mundo sublunar. Assim, era coerente que a Terra fosse imóvel, ou seja, que não tivesse nenhum movimento de rotação e nem de translação (COHEN, 1967). Em consideração à sua Física dos cinco elementos, era uma maneira de Aristóteles explicar o movimento natural dos corpos.

Para explicar o movimento, Aristóteles classificou-o em dois: o movimento natural e o movimento violento. O movimento natural pode existir tanto na Terra, quanto nos corpos celestes, já o movimento violento só pode existir na Terra, uma vez que a Terra é o lugar da corrupção (FRANKLIN, 1976).

O movimento natural celeste corresponde ao movimento circular uniforme, já o movimento natural terrestre é o retilíneo, que pode ter dois sentidos, para baixo ou para cima. Para explicar esta tendência natural de movimento terrestre, Aristóteles utiliza do argumento de que cada corpo sobe ou desce, à procura de seu lugar natural, e este lugar natural está associado à maior quantidade da substância que forma o objeto. De acordo com Aristóteles, os corpos terrestres são formados por quatro elementos, como já dito: terra, ar, água e fogo. Sendo assim, uma pedra quando solta tende a descer em direção ao solo, ou seja, um movimento natural vertical retilíneo para baixo, e isto ocorre porque a pedra é formada basicamente por terra, e nada mais natural do que quando abandonada, procurar o solo, que também é constituído por terra.

Tanto para o movimento natural, quanto para o movimento forçado, Aristóteles dizia que se fazia necessária uma força em contato com o objeto a ser movido. No caso de criaturas, pessoas, por exemplo, a força motora é provinda de sua alma, para corpos celestes, a força motora provém de uma inteligência celestial ou espíritos, e para objetos inanimados, uma pedra, por exemplo, é necessária uma força motora em contato com o objeto, como uma pessoa que o empurra continuamente (FRANKLIN, 1976).

De acordo com Franklin (1976), a explicação dada acima, de que a força em contato com o corpo causa e mantém o seu movimento, foi motivo de grandes dificuldades para Aristóteles, uma vez que existem situações de objetos em movimento sem a presença de uma força de contato, como por exemplo, o movimento de projéteis. No caso de uma pedra lançada, a força que a fez se movimentar foi provida pelo braço do atirador que estava em contato com ela, mas como explicar o movimento dela logo após a mão do atirador ter a deixado?

Aristóteles tenta resolver o problema explicando que é o próprio meio que sustenta o movimento do projétil, através de um processo denominado de *antiperistasis*, por meio do qual o meio evita a formação do vazio e empurra o projétil para frente. A figura a seguir exemplifica este processo:

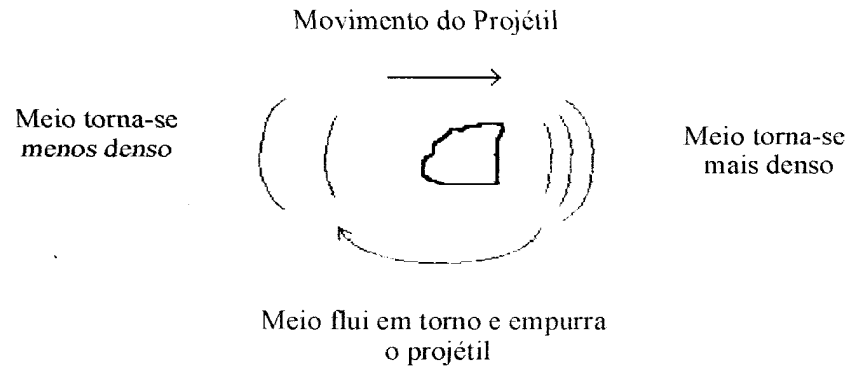


Figura1: *Antiperistasis*
Em: <www.google.com>

No processo de *antiperistasis*, o meio não tem movimento, mas possui a força necessária para mover alguma coisa. Esta força é, entretanto, transmitida imperfeitamente de uma camada do meio para a próxima e gradualmente essa força acaba, o que explica o fato do projétil parar depois de um tempo (FRANKLIN, 1976). Muitos comentadores de Aristóteles criticaram esta explicação, uma vez que, como veremos logo a seguir, Aristóteles considerava que o meio causaria a resistência ao movimento de um objeto, e agora o próprio meio seria o responsável por manter o movimento. Como isso seria possível? Uma contradição clara.

No movimento, Aristóteles entendia a velocidade adquirida pelo objeto como proporcional à força motora e inversamente proporcional à resistência do meio. Em uma notação moderna temos:

$$V = k \cdot \left(\frac{F}{R} \right)$$

Equação 1

Onde V corresponde à velocidade adquirida pelo corpo em movimento, k é uma constante de proporcionalidade, F a força propulsora, e R a resistência oferecida pelo meio no qual o objeto se desloca. Por esta relação, podemos inferir que:

Quadro 1: Características da relação força e movimento na categoria Aristotélica

- a) Quanto maior a velocidade de um corpo, maior a força aplicada.
- b) Quando a velocidade de um objeto é nula, a força também é nula.
- c) As velocidades dos corpos são sempre constantes, não havendo nenhuma espécie de variação temporal (aceleração).

- d) Um corpo é movido sempre pela ação constante de um agente, uma vez que o atrito sempre existirá, impedindo o movimento do corpo.
- e) O vácuo não pode existir, uma vez que a sua existência implicaria em uma velocidade infinita, e também porque, para Aristóteles, todo o universo é preenchido pelos seus respectivos elementos.
- f) E, por último, só ocorrerá movimento quando a força motora for maior do que a resistência oferecida pelo meio; para a força igual à resistência, o objeto permaneceria em repouso (NEVES, 2000).

FONTE: Autoria própria

Como podemos perceber, a Física de Aristóteles é baseada essencialmente na explicação de fenômenos cotidianos observacionais em um meio dissipativo, que do ponto de vista dos sentidos humanos, é extremamente coerente, o que dificultou a desvinculação de sua teoria por parte de outros pensadores. De acordo com Joannes Philoponus, um argumento baseado na observação real é muito mais convincente do que qualquer argumento verbal (COHEN, 1967).

Apesar de sua extrema coerência, argumentos contrários à teoria aristotélica surgiram. Dessa forma, houve a necessidade de novas explicações para fenômenos agora não mais explicados. Podemos considerar, tendo como base a história da ciência, a teoria do *impetus* como uma tentativa de explicação e de mudança de paradigma, e por este motivo, ela será abordada de maneira mais detalhada na próxima seção, denominada de Philoponus-Buridan, uma vez que estes dois cientistas contribuíram significativamente para a definição deste conceito.

3.2 Philoponus-Buridan

De acordo com Resquetti (2007), as primeiras tentativas de desvinculação da teoria aristotélica ocorreram no século II a.c, com os trabalhos de Hiparco, que tentava explicar o movimento dos corpos com base em um novo conceito, o *impetus*. Enquanto para Aristóteles era necessária uma força externa em contato contínuo com o objeto para que ele se mantivesse em movimento, para Hiparco, a força seria interna ao objeto, e diminuiria de intensidade somente por causa da resistência oferecida pelo meio, ou seja, sem resistência, a força se manteria constante.

Mais tarde, no século VI da nossa era, outro crítico de Aristóteles, Philoponus (475-565), também propõe a explicação do movimento com base no conceito de *impetus*.

Philoponus critica a explicação dada por Aristóteles para o movimento dos projéteis. Ele considera incoerente que o ar seja o responsável pelo movimento dos objetos lançados. Para ele, existe uma força interna que é dada do projetor ao projétil, e que seria a responsável pelo movimento do corpo (NEVES, 2000).

Philoponus entende que, em movimento, o corpo adquire uma velocidade que é proporcional à diferença entre a força interna e a resistência do meio. Para ele, a existência do vácuo é perfeitamente possível, e neste caso, quando a resistência oferecida fosse nula, a velocidade mantida pelo *impetus* adquirido permaneceria constante no tempo (NEVES, 2000). Podemos expressar essa relação por meio da seguinte notação:

$$\mathbf{V} = \mathbf{k} \cdot (\mathbf{F} - \mathbf{R})$$

Equação 2

Onde V é a velocidade adquirida pelo corpo em movimento, k é uma constante de proporcionalidade, F a força propulsora e R a resistência oferecida pelo meio no qual o corpo se desloca.

Além de Philoponus, muitos outros autores também defenderam essa ideia de força interna que manteria o movimento do corpo, dentre os quais podemos citar Avicenna, Franciscus de Marchia e Buridan. De acordo com Buridan (1300-1358), é necessário dar uma causa para a continuação do movimento de um projétil depois de seu lançamento, pois sem uma causa, o natural é que o projétil parasse logo após ter sido arremessado, e esta causa recebeu o nome de *impetus* (MARTINS, 2012).

Buridan tem um conceito de *impetus* muito próximo do de Philoponus. Acredita-se que Buridan tenha reinventado este conceito, uma vez que é quase certo que ele desconhecia a ideia original de Philoponus (NEVES, 2008).

Para Buridan, o *impetus* impresso, seria uma força transmitida do agente motor ao objeto posto em movimento, tornando-se uma força motriz incorpórea (RESQUETTI, 2007). A diferença entre as teorias desses dois cientistas é sutil: enquanto Buridan considerava o *impetus* uma força interna que se conservaria ao infinito desde que não houvesse resistências externas, Philoponus considerava que, independentemente da resistência oferecida pelo meio, o *impetus* diminuiria, mesmo no vácuo, porque, de acordo com Philoponus, além da resistência oferecida pelo meio, dever-se-ia levar em consideração que o corpo pesado tem uma tendência de ir à busca de seu lugar natural (uma referência a teoria aristotélica) (NEVES, 2008).

A figura abaixo representa a ideia associada ao conceito de *impetus*:



Figura 2: *impetus*
Em: <www.google.com>

De acordo com a figura, ao empurrar a caixa, o menino transfere a força do empurrão à caixa, o que justificaria o movimento dela logo após as mãos do garoto terem a deixado.

A principal contribuição de Buridan à teoria do *impetus* foi associar a velocidade e a quantidade de matéria à sua medida, o que mais tarde veio a ser a definição de Newton para quantidade de movimento, que diferente de Buridan, não a considerava como uma força, mas sim como a medida do efeito do movimento de um corpo.

De acordo com esta definição de Buridan para a medida do *impetus*, fica claro que, uma bola de ferro alcançaria uma distância maior do que uma bola de madeira, desde que ambas estivessem com a mesma velocidade e tivessem o mesmo volume, unicamente em razão da maior quantidade de matéria da bola de ferro.

Do exposto acima, podemos elencar duas principais características da relação força-movimento para Philoponus e Buridan, são elas:

Quadro 2: Características da relação força e movimento na categoria Philoponus-Buridan

- | |
|---|
| <p>a) A força (<i>impetus</i>) é proporcional à velocidade do corpo.</p> <p>b) A força acompanha o movimento do corpo (capital de força).</p> |
|---|

FONTE: Autoria própria

Estas duas características serão utilizadas para categorizar a relação força-movimento, presentes nos livros didáticos, nesta categoria.

3.3 Descartes-Newton

Nesta seção explanamos sobre o conceito de força desenvolvido por Descartes e Newton, bem como sobre as principais características deste conceito na categoria denominada Cartesiana-Newtoniana. Para tal objetivo, dividimos esta seção em três subseções, sendo que na primeira, falamos sobre a pesquisa desenvolvida por Galileu e Kepler, e de menção relevante porque o trabalho destes cientistas influenciou de maneira positiva o estabelecimento do conceito de força conhecido atualmente como newtoniano. Nas duas outras subseções, falamos sobre os trabalhos de Descartes e Newton, respectivamente. Optamos por separá-los em tópicos distintos por uma melhor organização da escrita e para facilitar a leitura e compreensão do leitor.

3.3.1 Galileu e Kepler

De acordo com o exposto por Franklin (1976), a principal mudança na transição da ciência medieval em direção a uma ciência mais madura, uma visão clássica de ciência, ocorreu necessariamente por contribuições de diversos cientistas, e teve como principal pilar a mudança da visão aristotélica, de que tudo que é movido é movido por alguma coisa também, rumo ao princípio da inércia, que diz que todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, desde que nenhuma força externa atue sobre ele. Em resumo, para que essa mudança acontecesse, foi necessária uma ruptura com a ideia de que todo movimento é associado necessariamente a uma força.

Para que essa transição de paradigmas ocorresse, muitos acontecimentos foram de extrema importância. Foi necessário o tratamento do problema do movimento no vazio, a queda dos corpos, o plano inclinado, o estudo do movimento em uma Terra que agora deixa de ser estacionária e passa a ter mobilidade, graças aos estudos de Copérnico, a semelhança entre o mundo sublunar e o supralunar, revelada pelo telescópio de Galileu, entre outros. No que diz respeito às descobertas de Galileu, Cohen (1967) coloca que, diante das evidências, na época só havia duas alternativas para o tratamento da anomalia revelada pelas lentes do telescópio: uma era recusar o que se via através do instrumento; a outra era rejeitar a Física aristotélica e a Astronomia de Ptolomeu. Podemos perceber pelo decorrer da história, que a segunda opção foi a escolhida.

Galileu Galilei (1564-1642), físico italiano, foi um dos nomes que influenciou o estabelecimento dessa nova visão de ciência. Galileu, com seus estudos do plano inclinado,

conseguiu demonstrar que um corpo pode manter um movimento uniforme, sem que nenhuma força atue sobre ele, contrariando os ensinamentos de Aristóteles. Isso explica o movimento de um projétil lançado, que antes era entendido apenas pelo processo de *antiperistasis*.

Outro problema que Galileu trabalhou foi com a queda dos corpos. De acordo com a teoria aristotélica vista anteriormente (cf. 3.1), a velocidade de um objeto em movimento, em queda, por exemplo, era proporcional ao peso do corpo. Assim, um corpo mais pesado, em queda, adquiriria maior velocidade do que um corpo mais leve, solto da mesma altura, em virtude somente do seu peso. Galileu estudou a queda dos corpos, concluindo que a velocidade de um corpo em queda livre depende somente da duração do tempo durante o qual ele cai, e não do seu peso ou da força que o impulsiona, como Aristóteles supunha (COHEN, 1967). Galileu inferiu também que quanto maior a altura da qual os corpos são soltos, há uma diferença pequena entre as quedas, que não deve ser atribuída ao peso dos corpos, mas sim à resistência imposta pelo ar. No caso limite, quando a resistência do ar se torna grande suficiente para igualar o peso do corpo, este cai com um movimento uniforme, ou seja, velocidade constante, contrariando novamente a teoria aristotélica, que dizia que quando a força motriz fosse igual ao valor da resistência oferecida pelo meio, a velocidade do corpo seria nula.

O aperfeiçoamento do telescópio, que tudo indica ter sido uma invenção holandesa, e seu apontamento para o céu com fins de estudos astronômicos, foi um acontecimento de extrema relevância para época, e que também foi fator de impacto na “derrubada” da teoria de Aristóteles. O uso do telescópio associado ao talento de Galileu contribuiu para grandes descobertas. O céu, que antes era considerado o lugar da perfeição, passa a abrigar as crateras e montanhas da Lua, a imperfeição da Terra nos céus, um elo que começou a ser construído com Galileu e Kepler, e que se concretiza com Newton, com sua Lei da Gravitação Universal.

Kepler (1571-1630) é outro nome importante nessa história, pois até essa época, acreditava-se que o movimento perfeito era o circular. Portanto, como a perfeição estava no céu, nada mais natural do que os planetas descreverem um movimento circular. No entanto, em seus estudos astronômicos, Kepler descobriu o que mais tarde seria sua primeira lei, que os planetas descrevem uma órbita elíptica, com o Sol ocupando um dos focos, contrariando novamente a teoria de seus predecessores. Gomes (2008) explica que, em 1609, Kepler escreveu o livro **Astronomia Nova**, no qual apareciam as suas duas primeiras leis do movimento planetário, mas que o astrônomo ainda não estava satisfeito com elas, pois para ele faltava descobrir as “harmonias” do universo. Kepler descobriu suas harmonias, e anos mais tarde publicou finalmente suas três leis do movimento planetário; são elas:

- 1- As órbitas dos planetas são elipses, com o Sol ocupando um dos focos.
- 2- Um planeta varre áreas iguais a uma velocidade constante.
- 3- A razão entre os quadrados dos períodos e os cubos dos semi-eixos maiores das órbitas dos planetas é constante (GOMES, 2008, p.50-51).

Consideramos Kepler um dos personagens principais no que tange ao objetivo histórico deste trabalho, pois além de ter contribuído para mostrar que o paradigma aristotélico não era condizente com as provas observacionais, também abriu caminhos para que Isaac Newton, posteriormente, desenvolvesse sua Lei da Gravitação Universal.

3.3.2 Descartes

Descartes (1596-1650) foi outro cientista que recusou a teoria aristotélica, e que também contribuiu para que Newton elaborasse as suas três leis do movimento. Descartes era contra os ensinamentos de Aristóteles, pois, para ele, a matéria seria desprovida de inteligência e incapaz de decidir qual caminho seguir. Para Descartes, a matéria é simplesmente espaço preenchido, ou seja, o vácuo não existe e todas as suas propriedades surgem da sua extensão. Esta extensão incluiria o comprimento, a largura e a profundidade, associada ao movimento da matéria. Tanto a extensão quanto o movimento, Descartes nominava de qualidades primárias, uma vez que são inerentes à matéria, e de qualidades secundárias a cor, o sabor, o som, entre outras (GOMES, 2008). Este conceito de inatividade da matéria é extremamente importante na teoria cartesiana, pois é com base nela que Descartes explica, que por si só, a matéria não poderia alterar seu estado de repouso ou de movimento (MARTINS, 2012).

O cartesiano explicou que o movimento teria duas causas distintas: a causa primária e universal, ou seja, Deus que seria o responsável por manter os movimentos que existem no mundo; e as causas secundárias e particulares, que fazem com que cada parte da matéria adquira o movimento que antes não possuía. Estas causas secundárias podem ser interpretadas como as leis da natureza (GOMES, 2008). As suas leis são três:

- 1- Primeira Lei: cada parte da matéria, em particular, continua sempre a estar no mesmo estado, enquanto o encontro com outras não a obriga a mudá-lo, por exemplo, se a matéria tem um determinado tamanho, ela não se tornará menor, a não ser que o encontro com outra matéria a faça diminuir de tamanho, dividindo-a; se ela está parada, não vai entrar em movimento, a não ser que outras a empurrem do lugar, e assim por diante (DESCARTES, 1664, p.81-82, *apud* MARTINS, 2012, p.296).

Martins (2012) esclarece que essa é a primeira enunciação desta lei feita por Descartes. Posteriormente, o filósofo enunciou-a novamente, de uma forma mais objetiva. Sua segunda versão diz: “Cada coisa permanece no seu estado. Tanto quanto lhe é possível, e que qualquer coisa que se mova tenta se mover para sempre” (MARTINS, 2012, p.296). As outras duas leis cartesianas são:

2- Segunda Lei: todo movimento é reto em si mesmo, e aquilo que se move em um círculo sempre tenta se afastar do centro do círculo que descreve (MARTINS, 2012, p.297).

3- Terceira Lei: que se um corpo que se move encontra-se com um outro, e possui menos força para continuar a se mover em linha reta do que esse último para resistir-lhe, então ele perde sua determinação sem nada perder de seu movimento, e que, se ele possui mais força do que o outro, ele move consigo esse outro corpo e perde tanto do seu movimento quanto ele atribui ao outro (BARRA, 2003, p.306-307 apud GOMES, 2008, p. 54-55).

Gomes (2008) esclarece que as duas primeiras leis de Descartes, juntas, podem ser consideradas como um princípio da inércia, mas que não se assemelha ao proposto por Newton, por não relacionar a força com a mudança de movimento. No entanto, Martins (2012) coloca que, muito provavelmente, Newton se baseou em Descartes para poder estabelecer suas leis de movimento, principalmente em sua segunda versão da Primeira Lei da natureza, enunciada acima. Quanto ao comentário de Gomes (2008), Martins (2012) argumenta que Descartes tinha uma visão de movimento diferente da de Newton. O filósofo não entendia o deslocamento de um ponto para o outro como uma mudança, e por isso, em sua concepção, não precisaria ser explicado. Descartes entendia o movimento retilíneo uniforme não como um processo, mas sim como um estado, que equivaleria ao estado de repouso, não exigindo qualquer força externa, como o repouso.

De acordo com Descartes, um corpo em movimento uniforme, ou seja, com velocidade constante, não está sofrendo nenhuma mudança de movimento e, portanto, não exige uma explicação para tal. Martins (2012) esclarece que apenas mudanças de movimento exigem uma explicação, e essas mudanças serão explicadas por influências externas. Portanto, para Descartes, devemos tratar o repouso e o movimento retilíneo uniforme da mesma maneira, pois não há diferenças entre eles. Uma prova disso é a relatividade entre o repouso e o movimento, ou seja, dependendo do referencial utilizado, um corpo pode estar no estado de repouso ou no estado de movimento.

No que diz respeito à causa primária do movimento, percebemos o papel central e fundamental que Deus exerce na teoria cartesiana, isto porque, o filósofo entende a

conservação do movimento com base em “alguma coisa” presente nos corpos, associada à imutabilidade divina, explicação que é contrária à de muitos filósofos anteriores a Descartes, que concebiam a conservação do movimento tendo como ponto de partida o conceito de *impetus* (MARTINS, 2012). Este ponto destacado por Martins (2012) é muito interessante, porque evidencia o caráter múltiplo e não linear da ciência. Não existe um caminho único e certo que nos leva ao conhecimento científico, neste caso específico, às leis de Newton para o movimento, e a beleza da atividade científica se concentra exatamente nisso, na pluralidade metodológica científica.

Apesar de hoje em dia a teoria de Newton para o movimento ser conhecida e muito bem aceita pela comunidade científica, dentro do seu limite de validade, Florian Cajori (1990), em um apêndice histórico e explicativo do **Principia** de Isaac Newton, diz que nem sempre foi assim. Durante muito tempo, a teoria cartesiana foi mais bem aceita em relação à teoria newtoniana, porque esta tinha elementos de apelo popular, uma vez que um leigo em matemática poderia compreendê-la muito bem, já que a teoria de Descartes era essencialmente qualitativa, apesar de ele ser um excelente matemático. Ao contrário, a Lei da Gravitação Universal de Newton, envolvendo uma abordagem quantitativa, era de difícil compreensão para aqueles não acostumados com o tratamento matemático, o que dificultou sua aceitação pela comunidade de forma em geral, mas agradou os matemáticos britânicos, como Halley, Keill, Whiston, Cotes e Taylor (NEWTON, 1990).

Florian (1990) também coloca que, mesmo após quarenta anos da primeira publicação do **Principia**, o sistema francês mantinha uma forte posição na Inglaterra. Ele diz que, durante muito tempo, era como se na Europa convivessem duas formas diferentes de instrução, uma favorecendo Descartes, e outra, Newton, confirmando o que Thomas Kuhn (2007) coloca a respeito do difícil estabelecimento de um paradigma: “Esse processo intrinsecamente revolucionário raramente é completado por um único homem e nunca de um dia para o outro” (KUHN, 2007, p.26).

3.3.3 Newton

Isaac Newton (1643-1727), uns dos grandes nomes da ciência moderna, foi o cientista considerado responsável por sintetizar e teorizar todas essas descobertas e argumentos, responsáveis pela crise do paradigma aristotélico.

Aluno de Cambridge estudou a filosofia de Descartes, álgebra e geometria analítica, bem como os trabalhos de Copérnico e Galileu. Devido uma epidemia de peste que devastou a Europa, Newton retornou à sua cidade natal, Lincolnshire, local onde desenvolveu grande parte de seu trabalho, como o cálculo integral e diferencial, a lei do inverso do quadrado da distância, e suas três famosas leis para o movimento, contidas em um dos seus mais importantes livros, “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” (1687), ou simplesmente, **Principia**.

Antes de enunciar suas leis de movimento, no início do **Principia**, Newton expõe um conjunto de definições tidas como prévias, que versam sobre conceitos importantes que serão empregados em suas leis. São elas:

Definição I: a quantidade de matéria é a medida da mesma, obtida conjuntamente a partir de sua densidade e volume.

Definição II: a quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria.

Definição III: a *vis insita*, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, estando em um determinado estado, mantém esse estado, seja ele de repouso ou de movimento uniforme em linha reta.

Definição IV: uma força imprimida é uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja de repouso, ou de movimento uniforme em linha reta.

Definição V: uma força centrípeta é aquela pela qual os corpos são dirigidos ou impelidos, ou tendem de qualquer maneira, para um ponto como o centro.

Definição VI: a quantidade absoluta de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à eficácia da causa que a propaga a partir do centro, através dos espaços ao seu redor.

Definição VII: a quantidade acelerativa de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à velocidade que ela gera em um dado tempo.

Definição VIII: a quantidade motora de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional ao movimento que ela gera em um dado tempo (NEWTON, 1990, p.1-5).

A definição I de Newton, quantidade de matéria, pode ser interpretada como a definição do conceito de massa, que é obtida a partir de dois outros conceitos, que, a princípio, não foram definidos por Newton, densidade e volume.

Na definição II, é caracterizada a grandeza quantidade de movimento, que é obtida pelo produto da massa e da velocidade, que podemos expressar matematicamente pela expressão abaixo:

$$Q = m.v$$

Equação 3

A definição III esclarece a *vis insita*, que pode ser entendida como a inércia da matéria, uma força de inatividade que é intrínseca à matéria, e que oferece ao corpo a capacidade de resistir à alteração do seu estado de movimento. Newton também esclarece melhor seu conceito de inércia, contrapondo-o àquele enunciado por Galileu. De acordo com Newton, para que um corpo mantenha um movimento circular, é necessária a aplicação constante de uma força, que desviará o corpo de seu movimento retilíneo; por exemplo, a Lua orbita ao redor da Terra, porque é desviada continuamente pela força da gravidade, ou por qualquer outra força. Assim, Newton explica que a ideia de Galileu de uma inércia circular não é condizente, porque o movimento circular não pode ser natural, uma vez que necessita de uma força para mantê-lo (NEWTON, 1990).

A definição IV diz respeito ao conceito de força impressa, que é a responsável por alterar o estado de movimento de um corpo. Na definição de força impressa, ou força motora imprimida, Newton tem o cuidado de esclarecer o real significado do termo utilizado por ele, talvez com a intenção de que este não fosse confundido ou assemelhado ao conceito de *impetus*. Nas palavras de Newton: “Essa força consiste apenas na ação, e não permanece no corpo quando termina a ação. Pois um corpo mantém todo novo estado que ele adquire, somente por sua inércia” (NEWTON, 1990, p.3). Newton (1990) ainda cita que este tipo de força tem naturezas diferentes, podendo ser de percussão, pressão e de força centrípeta.

Finalmente, nas definições de V a VIII, Newton explica sobre a força centrípeta, que ele entende como forças centrais. Após estes esclarecimentos, Newton enuncia então suas três leis para o movimento:

Lei I: Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

Lei II: A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.

Lei III: A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas (NEWTON, 1990, p.15-16).

Por estas leis, especificamente a lei II, podemos perceber que Newton entende com clareza a força como a responsável pela mudança de movimento de um corpo, ou seja, a força proporcional à aceleração do corpo, e não à sua velocidade, como se acreditava. Em uma linguagem matemática moderna, podemos enunciar esta lei da seguinte forma:

$$F \cdot \Delta t = \Delta Q$$

Equação 4

Na qual, F corresponde à força aplicada, Δt à variação de tempo na aplicação da força e ΔQ à variação da quantidade de movimento. Geralmente esta equação vem escrita nos livros didáticos quando os autores introduzem a segunda lei de Newton, e acredita-se que a equação 4 foi escrita desta forma por Euler em 1747 (NEVES, 2000, p. 107 apud BLINI, 2010).

Esta noção de força newtoniana parece ser diferente da do *impetus*, como podemos perceber pelo exposto acima, e Camargo nos diz que o próprio Newton encontrou grandes dificuldades em superar a concepção de *impetus*, e trabalhou com a análise e superação deste problema entre os anos de 1664 e 1685 (CAMARGO, 2000).

De acordo com Gomes (2008), a definição de Newton de *vis insita*, difere do *impetus* medieval, porque esta é a responsável apenas pela manutenção do estado de repouso ou do movimento retilíneo uniforme, enquanto aquele é o responsável pelo movimento do corpo, quando ele cessar o corpo para.

Martins (2012), no entanto, discorda das afirmações feitas acima. De acordo com este historiador, o conceito de força presente em Newton é o de *impetus*. O autor coloca que, durante o desenvolvimento das principais ideias de Newton, a obra que mais o influenciou foi *Philosophiae Principia*, de Descartes. Antes do estudo das obras do pensador cartesiano, Newton já sabia que a tendência de um corpo era manter seu movimento; contudo, ele possuía uma concepção semelhante ao de *impetus*, isto porque, considerava que era necessária uma força interna para manter o movimento uniforme do corpo.

Martins (2012) prossegue seus comentários, dizendo que mesmo depois de Newton ter adotado as ideias de Descartes, continuou a pensar a força como interna nos corpos. Nas palavras newtonianas:

A força que o corpo tem para se preservar no seu estado **será igual a força que o colocou naquele estado**; não maior, pois não existe nada no efeito que não estava na causa, nem menor, **porque a causa só perde sua força ao comunicá-la ao seu efeito**, e **não existe razão pela qual não deve estar no efeito o que foi perdido na causa** (WESTFALL, 1983, p.146, apud MARTINS, 2012, p.294, grifo dos autores) .

Pelas palavras de Newton, podemos perceber neste cientista, indícios de uma concepção de força muito próxima da de *impetus*, principalmente pela última frase, “não existe razão pela qual não deve estar no efeito o que foi perdido na causa”. Por esta ideia, entendemos que Newton considerava que a força era transmitida do motor inicial (causa do

movimento) ao corpo movente (efeito do movimento), princípio usado por Philoponus e Buridan para explicar o movimento de um corpo, como vimos anteriormente.

Ainda em escritos posteriores, em seu caderno de anotações (*Waste book*), Newton continuou a pensar a força interna como requisito para manter o movimento de um objeto. Ele escreve que a força é o princípio causal do movimento e do repouso, podendo ser externa ou interna. A força externa é responsável por gerar e destruir, ou mudar de qualquer outra forma o movimento impresso sobre algum corpo. A força entendida como interna é a responsável pelo movimento ou repouso que existe e é conservado em um corpo (MARTINS, 2012).

Para Martins (2012), Newton nunca abandonou totalmente a ideia de uma força associada ao movimento, mesmo em sua mecânica moderna. Sua definição de *vis insita*, por exemplo, está associada a esta ideia. Entretanto, o estudo da obra de Descartes introduziu uma nova interpretação na concepção newtoniana: a ideia de que não é necessária uma causa para manter o movimento retilíneo uniforme, mas sim para alterá-lo.

Martins (2012) também alerta que Descartes, em sua teoria, classifica a força em força de repouso e força de movimento, assim como Newton. Contudo, esse conceito de força cartesiana é diferente da newtoniana, porque a força que mantém o movimento para Descartes é reativa, ou seja, representa uma resistência à mudança de estado de repouso ou de movimento, enquanto o conceito newtoniano refere-se a uma força ativa, que mantém o movimento.

No ponto de vista de Martins (2012), a lei da inércia deveria ser atribuída a Descartes, e não à Newton, porque, de acordo com ele, Newton se baseou e utilizou os principais conceitos cartesianos, como estado de repouso e estado de movimento, para enunciar suas leis. Além do mais, para este historiador, quem possui um conceito mais claro de força é Descartes. Para Martins (2012), Newton ainda possui em sua mecânica moderna resquícios de *impetus*.

Polêmicas à parte, sem dúvidas, Newton representou o ápice desta grande Revolução Científica. Sua teoria aos poucos foi conquistando adeptos, graças às evidências contrárias à teoria aristotélica, e pela sua capacidade de explicar anomalias antes não explicadas satisfatoriamente. Outro fator importante no estabelecimento do paradigma newtoniano foi a enunciação da Lei da Gravitação Universal. Agora, as mesmas leis que regem os fenômenos terrestres também explicam os fenômenos celestes.

Como podemos perceber pelo exposto, tanto Descartes quanto Newton, contribuíram de maneira significativa para o conceito de força que hoje chamamos de newtoniano, e por este motivo, agrupamos estes dois cientistas em uma única categoria de análise que

denominamos de Cartesiana-Newtoniana. Segue abaixo as principais características elencadas nesta categoria, que servirão de base para a análise dos livros didáticos:

Quadro 3: Características da relação força e movimento na categoria Cartesiana- Newtoniana

- | |
|---|
| <p>a) A força impressa provoca a mudança de movimento, ou seja, a força é proporcional a aceleração do corpo.</p> <p>b) O estado natural da matéria é o repouso ou o movimento uniforme em linha reta, quando a força resultante sobre o corpo for nula.</p> <p>c) A existência do vácuo passa a ser possível, mesmo Newton e Descartes não acreditando na possibilidade do vazio, porque, de acordo com esta relação entre força e movimento, se não existir nenhuma força de resistência, a tendência do objeto é continuar em movimento com velocidade constante e em linha reta. No caso de um objeto no espaço, este raciocínio seria o mesmo, desde que o corpo estivesse longe da atração gravitacional de outros corpos.</p> <p>d) A força consiste apenas na ação, e não permanece no corpo quando termina a ação.</p> |
|---|

FONTE: Autoria própria

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta pesquisa, temos como objetivo investigar e identificar o conceito de força ensinado pelos livros didáticos de Física, e se este está de acordo com o conceito newtoniano de força. Para tal objetivo, utilizamos a Análise de Conteúdo baseada em Bardin (1977), com a intenção de responder as seguintes problemáticas de pesquisa: “Qual o conceito de força mecânica ensinado pelos livros didáticos de Física? Este conceito está de acordo com o proposto pelo paradigma newtoniano?”. A amostra da qual foram coletados os dados é formada por seis livros didáticos, de um total de quatorze aprovados no PNLD de 2015 do Ensino Médio, sendo que os critérios de escolha estão descritos na seção 4.1. Especificamente no presente capítulo, apresentamos de maneira sucinta a análise de conteúdo referenciada em Bardin.

4.1 Análise de Conteúdo

A Análise de Conteúdo teve seus primórdios nos Estados Unidos, com análise de material essencialmente jornalístico, cujo rigor científico estava na medida (BARDIN, 1977). Podemos citar H. Lasswell como o primeiro a utilizar a análise de conteúdo. Lasswell fez análises de imprensa e propaganda a partir do ano de 1915, aproximadamente. Este método de análise foi aperfeiçoado posteriormente nos Estados Unidos, pelos departamentos de ciências políticas, e os problemas levantados pela Segunda Guerra Mundial acentuaram ainda mais o uso e popularização desta técnica (BARDIN, 1977).

A Análise de Conteúdo pode ser definida como:

... um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 1977, p.42).

De acordo com Caregnato e Mutti (2006), a Análise de Conteúdo pode ser quantitativa ou qualitativa. Na abordagem considerada quantitativa, é traçada uma frequência das características que se repetem no conteúdo do texto, e na abordagem qualitativa, é considerada a presença ou ausência de uma dada característica ou conjunto de características

na mensagem Para este trabalho, optamos por adotar uma abordagem qualitativa, por considerar que ela se enquadra melhor aos objetivos desta pesquisa.

4.1.1 Etapas da Análise de Conteúdo

O processo de organização da Análise de Conteúdo se dá em torno de três polos principais, quais sejam:

- I. Pré-análise;
- II. exploração do material;
- III. tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

Abaixo segue a explicação de cada uma destas etapas.

I. Pré-análise

A pré-análise tem como objetivo o primeiro contato com os documentos que serão analisados, visando uma operacionalização e sistematização das ideias iniciais. A pré-análise compreende cinco etapas (BARDIN, 1977):

a) Leitura flutuante: corresponde ao primeiro contato com os documentos, com o objetivo de conhecer o texto. No caso deste trabalho a leitura flutuante dos quatorze livros didáticos de Física foi realizada por meio do Guia de Livros Didáticos, PNLD 2015.

b) Escolha dos documentos: depois da leitura flutuante, o pesquisador deve constituir sua amostra de pesquisa. A escolha dos documentos deve satisfazer algumas regras. São elas:

- **Regra da exaustividade:** uma vez definida a amostra, não se pode ter deixado de fora qualquer um dos elementos que a represente, por qual seja o motivo, em outras palavras, todo documento que corresponda ao objetivo da pesquisa deve ser analisado;
- **Regra da representatividade:** a amostra selecionada deve representar o conjunto inicial;

- **Regra da homogeneidade:** os documentos retidos devem obedecer a critérios precisos de escolha e não apresentar demasiada singularidade fora destes critérios;
- **Regra de pertinência:** os documentos escolhidos devem ser adequados, enquanto fonte de informação, de modo a corresponderem ao objetivo que suscita a análise;

c) **Formulação das hipóteses e dos objetivos:** a partir das problemáticas de pesquisa “Qual o conceito de força mecânica ensinado pelos livros didáticos de Física? Este conceito está de acordo com o proposto pelo paradigma newtoniano? ”, é que aplicamos a Análise de Conteúdo, com o objetivo de responder nossas perguntas.

d) **Referenciação dos índices e elaboração de indicadores:** se considerarmos os textos como uma manifestação contendo índices que a análise vai suscitar, podemos estabelecer categorias de análise a partir de codificadores. No caso desta pesquisa, estabelecemos a priori três categorias de análise: Aristotélica, Philoponus-Buridan e Cartesiana-Newtoniana.

e) **Preparação do material:** antes da análise, se faz necessário a preparação dos documentos, como por exemplo, as gravações devem ser transcritas e os artigos de imprensa recortados, o que não foi o caso deste trabalho.

Após escolha do material, levando-se em consideração as regras enunciadas acima, passamos para segunda etapa da análise, a exploração do material.

II. Exploração do material

Esta fase consiste essencialmente de operações de codificação em função de regras previamente formuladas. Fazem parte desta fase a codificação e a categorização.

a) **Codificação:** é o processo pelo qual os dados brutos do texto são tratados a fim de permitir uma descrição clara e exata do conteúdo do texto.

b) **Categorização:** é o processo de agrupamento do conteúdo obtido a partir da codificação, em categorias que podem ser estabelecidas a priori ou posteriori, sob um título genérico. No caso, categorizamos nossos dados de acordo com as três categorias definidas a priori: Aristotélica, Philoponus-Buridan e Cartesiana-Newtoniana.

No processo de codificação e categorização, se faz necessário o estabelecimento da unidade de registro e de contexto. A primeira corresponde ao segmento de conteúdo a considerar como unidade de base, visando a categorização e a contagem frequencial, e pode ser de natureza e de dimensões muito variáveis, como por exemplo, a palavra, o objeto, a personagem, o documento e o tema. A segunda, por sua vez, corresponde ao segmento da mensagem, cujas dimensões ajudam a compreender a significação exata da unidade de registro, como por exemplo, a frase, o parágrafo ou o texto inteiro.

III. Tratamento dos resultados, inferência e interpretação

Ao utilizar Análise de Conteúdo, o interesse maior não reside na descrição dos conteúdos, mas sim no que eles nos poderão ensinar após serem tratados (BARDIN, 1977). Por isso, a terceira fase da análise é de suma importância. A partir da codificação e categorização, são propostas inferências e realizadas interpretações, inter-relacionando-as com o quadro teórico desenvolvido anteriormente. No caso da presente pesquisa, a inferência a partir dos dados tratados foi realizada tendo como base o referencial teórico histórico do conceito de força.

5 ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO PNLD 2015

Apresentamos neste capítulo a análise dos livros didáticos de Física do PNLD 2015, tendo como procedimento analítico a Análise de Conteúdo proposta por Bardin (1977), tratada em 4.1, e apoiada no referencial teórico histórico para o conceito de força, explicitado no capítulo três.

Em um primeiro momento, realizamos um estudo do desenvolvimento do conceito de força mecânica, com base em fontes primárias e secundárias, e elencamos cinco autores/cientistas para estabelecermos nosso referencial teórico: Aristóteles, Philoponus, Buridan, Descartes e Newton. Compreendemos que vários outros cientistas também contribuíram para o estabelecimento do conceito de força mecânica do paradigma newtoniano, como Galileu Galilei, Johannes Kepler e Giordano Bruno. No entanto, devido a limitações de tempo e à impossibilidade de se abordar todos os cientistas que de alguma forma participaram das discussões envolvendo este conceito, optamos pelos os cinco autores citados, por considerar que eles atendem aos objetivos desta pesquisa.

A revisão bibliográfica realizada, também possibilitou a escolha da unidade de registro, no caso, a relação força-movimento. A unidade de contexto utilizada foi o próprio texto. As categorias de classificação foram definidas a priori, e emergiram desse estudo conceitual. São três as categorias: Aristotélica, Philoponus-Buridan e Cartesiana-Newtoniana.

Abaixo apresentamos a análise do material didático seguindo a mesma ordem estabelecida no capítulo quatro, a saber: Pré-análise, Exploração do material e o Tratamento dos Resultados.

5.1 Fases da análise dos livros didáticos

I. Pré-análise

- a) **Leitura flutuante:** o primeiro contato com o material selecionado ocorreu por meio do Guia de Livros Didáticos do PNLD 2015. O Guia conta com quatorze coleções

aprovadas para escolha dos professores da rede pública do Ensino Médio, das quais foram escolhidas seis.

A leitura flutuante deste material nos permitiu identificar inicialmente em quais obras o uso da história da ciência estava presente. Conseguimos concluir, a partir do caderno de resumos, que das quatorze coleções, apenas quatro não fizeram uso da história da ciência de maneira recorrente e adequada, ou utilizaram a história apenas em dados biográficos, e, por esse motivo optamos por não as analisar. Das dez coleções restantes, escolhemos seis para análise, seguindo critérios previamente estipulados: dois autores mais antigos na escrita de livros didáticos de Física, dois autores recentes, e dois autores que apresentaram propostas diferenciadas de trabalho. No caso, esta proposta diferenciada corresponde à distribuição de conteúdos, que consideramos importante para uma melhor compreensão dos conceitos físicos por parte dos estudantes, e também para o entendimento do desenvolvimento científico. Em ordem alfabética, as coleções escolhidas foram:

Livro 1: ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. **Física**. São Paulo: Positivo, 2013.

Livro 2: BONJORNO *et al.* **Física**. São Paulo: FTD, 2013.

Livro 3: GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**. São Paulo: Ática, 2013.

Livro 4: KANTOR, Carlos Aparecido *et al.* **Quanta Física**. São Paulo: Pearson, 2013.

Livro 5: MARTINI, Gloria *et al.* **Conexões com a Física**. São Paulo: Moderna, 2013.

Livro 6: PIETROCOLA, Maurício *et al.* **Física – Conceitos e Contextos: Pessoal, Social, Histórico**. São Paulo: FTD, 2013.

Tabela 1: Critérios de escolha dos livros didáticos

Dois autores mais antigos	Dois autores recentes	Dois propostas didáticas diferenciadas em relação à distribuição de conteúdos
Livro 2 (Bonjorno)	Livro 1 (Artuso)	Livro 4 (mecânica V.1, 2 e3) (Kantor)
Livro 3 (Gaspar)	Livro 5 (Martini)	Livro 6 (quantidade de movimento V.2) (Pietrocola)

FONTE: Autoria própria

b) Escolha dos documentos: os seis livros escolhidos atendem às regras de seletividade da escolha dos documentos mencionados no capítulo anterior, uma vez que representam o universo inicial dos documentos, no caso, os livros didáticos de escolha do PNLD 2015; obedecem aos critérios de escolha estabelecidos previamente (dois autores mais antigos, dois autores mais recentes e dois autores com propostas diferenciadas de trabalho); são fontes de informação para a presente pesquisa, uma vez que o ensino do conceito de força faz parte das Diretrizes Curriculares do Ensino de Física, e, portanto, está presente nestes documentos.

c) Formulação das hipóteses e dos objetivos: apesar da instrução escolar, mais especificamente da instrução de conceitos físicos, que ocorre durante três anos do assim chamado Ensino Médio, muitos estudantes não conseguem compreender o conhecimento físico, e tão pouco associá-lo com os fenômenos cotidianos, e um exemplo claro é o de um objeto atirado. Comumente, os estudantes associam uma força impressa a esse movimento, ou seja, entendem que necessariamente deve haver uma força no objeto para mantê-lo em movimento, e quando indagados com respeito à causa que faz com que o objeto diminua e pare seu movimento, respondem que a força acabou. Essa ideia é muito semelhante ao conceito de *impetus*, desenvolvido na história da ciência para explicar situações semelhantes, e que não está de acordo com aquele aceito atualmente pela comunidade científica para o paradigma newtoniano. Estudos como os de Silveira, Moreira e Axt (1992), Camargo (2000), Alís (2005), Gomes (2008) e Danhoni e Savi (2000), já evidenciaram esta conclusão.

No ensino de Física, o livro didático constitui o principal meio de ensino e aprendizagem dos conceitos científicos nas salas de aula das escolas públicas brasileiras de nível médio (SANTANA; ROSSINI; PRETTO, 2012). Por isso, é de fundamental importância que o professor conheça muito bem os materiais que utilizará em sala de aula, e que também detenha um conhecimento aprofundado sobre a elaboração dos conceitos científicos trazidos nesses materiais. Dessa forma, o docente poderá verificar se esses conceitos estão formulados adequadamente do ponto de vista da teoria aceita nos dias atuais. A apresentação da história da ciência e da natureza do desenvolvimento científico, as propostas de atividades e exercícios, entre outros, possibilitarão a reflexão do professor, permitindo-lhe o diálogo e argumentação com seus alunos.

Diante do exposto, nossa intenção de pesquisa é compreender mais especificamente o conceito de força mecânica ensinado nos livros didáticos de Física, e se este conceito está de acordo com o proposto pelo paradigma newtoniano, pois, no nosso entendimento, esta percepção pode auxiliar o professor na condução de suas estratégias de ensino em sala.

d) Referenciação dos índices e elaboração de indicadores: como dito anteriormente, a revisão bibliográfica nos permitiu a elaboração de três categorias de análise: Aristotélica, Philoponus-Buridan e Cartesiana-Newtoniana.

A teoria aristotélica é baseada na explicação de fenômenos cotidianos que satisfazem o senso comum. Aristóteles divide o movimento dos corpos em dois: movimento natural e movimento forçado. No caso do movimento forçado de objetos inanimados, Aristóteles diz que é necessária uma força em contato com o objeto para que este se mova, e a velocidade adquirida, é diretamente proporcional à força e inversamente proporcional à resistência do meio, o que gera como consequência direta a necessidade de uma força para manter o movimento. Essa teoria ficou estabelecida por mais de dois mil anos, influenciando todo trabalho em Física concluído na Idade Média (FRANKLIN, 1976).

A segunda categoria, Philoponus-Buridan, explica o movimento com base em um novo conceito, o de *impetus*. O *impetus* de um objeto seria uma força motriz incorpórea, transmitida de um motor inicial ao corpo posto em movimento. Philoponus entende a velocidade adquirida pelo objeto em movimento como proporcional à diferença entre o peso do objeto e a resistência do meio. De acordo com esta proposição, a possibilidade da existência do vácuo, que com Aristóteles era impossível, passa a ser possível, e, nesse caso, quando a resistência do meio é nula, a velocidade mantida pelo objeto continuaria constante no tempo (RESQUETTI, 2007).

Buridan, no século XIV aperfeiçoou este conceito de *impetus*. Para Buridan, a força do *impetus* seria conservada ao infinito, e sua intensidade só diminuiria na presença de uma resistência externa. Para Buridan, a medida da força do *impetus* seria proporcional à velocidade e à quantidade de matéria do corpo (RESQUETTI, 2007). Como tanto Philoponus, quanto Buridan trabalharam com o conceito de *impetus*, decidimos agrupá-los em uma única categoria, denominando-a de Philoponus-Buridan. Lembrando que existe entre eles uma diferença sutil: Buridan considerava que o *impetus* mantido pelo corpo só diminuiria na presença de uma força externa, já para Philoponus, independente da resistência externa, o *impetus* acabaria.

A terceira categoria, denominada de Cartesiana-Newtoniana, trata de uma maneira mais moderna a relação força-movimento. Nesta última categoria, trabalhamos com Descartes e Newton, por entender que esses dois cientistas contribuíram para o desenvolvimento do conceito de força mecânica, que atualmente, por ironia histórica, talvez, denominamos somente de força newtoniana.

Como nos dias atuais percebemos concepções semelhantes a essas, em materiais de divulgação científica, como revistas, por exemplo, decidimos utilizá-las como categorias de análise (GOMES, 2008).

II. Exploração do material

Passamos nesta fase para a codificação e a categorização do conteúdo de força presente nas seis coleções de livros didáticos escolhidos, de acordo com as categorias já pré-definidas. Para cada coleção, a codificação e a categorização são colocadas juntas, em um mesmo texto, por entendermos que uma completa a outra. Procuramos, no decorrer desta fase, fornecer ao leitor uma visão geral de cada obra, ancorada em elementos como a formação acadêmica dos autores e o uso da história da ciência. Temos consciência que a análise ou o uso destes elementos fogem ao objetivo principal desta pesquisa; no entanto, os consideramos importantes, uma vez que nos servirão de base para as inferências que serão realizadas no decorrer das próximas páginas, principalmente no tópico III, “Tratamento dos resultados”. As coleções estão identificadas na análise pelos nomes, livros 1, 2, 3, 4, 5 e 6, utilizados na bibliografia citada na página 43.

Livro 1



Figura 3
Em: (BRASIL, 2015)

Esta coleção se enquadra dentro do critério de escolha que estabelece a presença de autores novos na escrita de livros didáticos de Física. Os autores, Alysson Ramos Artuso e Marlon Wrublewski são licenciados em Física, e possuem especialização na área de Engenharia e Ciências dos Materiais. Ambos os autores possuem experiência na área de ensino, ministrando aulas no Ensino Médio e em cursos de graduação. No caso de Artuso, ele também possui experiência em projetos de pesquisa envolvendo livros didáticos.

No que diz respeito à disposição do conteúdo de mecânica, este está presente somente no volume 1 da coleção, como tradicionalmente encontramos. Os autores iniciam a segunda lei de Newton dando exemplos do cotidiano nos quais percebemos a ação ou efeito de forças, como, por exemplo, empurrar uma caixa, ou amassar uma lata. Esta contextualização é importante, porque ajuda o aluno a compreender melhor o conceito a ser estudado, e também a relacioná-lo com as situações do seu dia-a-dia. Em seguida, apresentam alguns tipos de forças, como força peso, normal, de atrito, tensão e força elástica, discutindo-as conceitualmente e exemplificando-as.

Após esta introdução, é apresentado o conceito de força, bem como a primeira e a terceira lei de Newton. Durante o texto que trata do conceito de força, constatamos que a definição apresentada pelos autores é coerente com aquela da categoria Cartesiana-Newtoniana, uma vez que em todos os exemplos e discussões realizadas, os redatores tiveram o cuidado de associar a força com a variação do movimento, ou em outra linguagem, a força como proporcional à aceleração. Contudo, os autores não definem o que seria a quantidade de movimento neste capítulo, somente o fazem no final do livro, na unidade 3, denominada de “Leis da Conservação”, junto com a definição de energia. No entanto, em momento algum, durante essa unidade, discutem a definição original de força, dada por Newton, que leva em consideração a variação da quantidade de movimento, ao invés do conceito moderno que a substitui por aceleração. A seguir, apresentamos alguns trechos que exemplificam o que foi dito.

- De maneira mais formal, a **força** é um resultado da interação de dois corpos e pode deformá-los, **acelerá-los** ou equilibrá-los (p.90);
- De acordo com a teoria Newtoniana, **quando as forças que atuam sobre um corpo não se anulam, há uma alteração do estado de movimento dele**. Tal alteração pode ser avaliada pela aceleração, que, sendo uma grandeza vetorial, mede a variação do vetor velocidade. Logo, se um corpo teve seu estado de movimento alterado, é porque ele possui uma aceleração (p.95);
- Com base no Princípio da Inércia, podemos entender que as **forças** são responsáveis pelas **variações de velocidade** de um corpo. Da mesma forma, se a **resultante das forças** sobre uma partícula **for nula, a velocidade dela não pode variar**, pois **a existência de uma força resultante implica alterações da velocidade** do corpo (p.97);

- O atrito entre o eixo e a roda faz com que ela pare de girar. Com a redução do atrito, verificamos que o tempo de movimento da roda aumenta (referência ao motivo pelo qual um corpo para seu movimento) (p.96) (grifo dos autores).

Concluimos, após a análise dos capítulos referentes às três leis de Newton e quantidade de movimento, que a obra apresenta-se contextualizada, fazendo uso de exemplos do cotidiano e da história da ciência. Percebemos, no decorrer dos capítulos que tratam do conceito de força, que elementos históricos são utilizados, como por exemplo, boxes históricos, como o da página 101 do volume 1, no qual os autores falam sobre as explicações históricas para o movimento, como a teoria aristotélica e a do *impetus*. Contudo, estes elementos históricos são apresentados de forma fragmentada e não contextualizada com as definições dos conceitos científicos. Intuímos que existe um abismo entre a enunciação dos conceitos e a história da ciência, como se a história fosse apenas mais um requisito a ser cumprido.

Livro 2

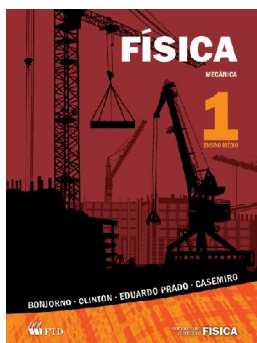


Figura 4
Em: (BRASIL, 2015)

Esta coleção se enquadra no critério de escolha que estabelece autores mais antigos na escrita de livros didáticos de Física. Dos seis escritores da coleção, quatro possuem licenciatura em Física, são eles: José Roberto Bonjorno, Regina de Fátima Souza Azenha Bonjorno, Clinton Marcico Ramos e Renato Casemiro. Valter Bonjorno é engenheiro naval, e Eduardo de Pinho Prado é licenciado em Matemática. Todos os autores ministram aulas de Física e/ou Matemática no Ensino Médio e/ou em cursos de graduação. Consideramos esta experiência profissional importante, porque subentendemos que, ao ter contato com a problemática do ensino de Física em sala de aula, os autores tenham mais subsídios para a formulação e escrita do material didático.

Em relação ao conteúdo de mecânica, que é o nosso foco de pesquisa, verificamos que ele está presente somente no volume 1 desta obra. Os autores iniciam o capítulo denominado de “Força e Movimento”, com a pergunta “O que é força?”, e discutem uma possível resposta, com exemplos do dia-a-dia relacionados com esportes, como o voleibol e o futebol.

Após essa curta discussão, cerca de quinze linhas, são apresentados os conceitos de ação à distância e ação por contato, são discutidos os efeitos de uma força, e por fim, as leis de Newton para o movimento.

Dentro do capítulo, a apresentação e os exemplos utilizados para conceituar força, de forma geral, à exceção de um comentário que será analisado a seguir, estão de acordo com a categoria Cartesiana-Newtoniana. Os autores apresentam e utilizam, inclusive, a definição de força que está no **Principia**. No entanto, só definem quantidade de movimento no final do capítulo, sem referenciar a relação entre este conceito e o significado da segunda lei da forma como Newton estabeleceu. Depois disso, os autores explicam alguns tipos de forças, como a força peso, força de atrito e força elástica. Seguem abaixo alguns trechos do livro:

- Um atacante de voleibol **imprime** um grande esforço físico e **o transfere à bola** no momento da cortada. Inicialmente, podemos relacionar esses esforços a forças (p.141) (grifo dos autores).

Os verbos utilizados pelos autores, imprimir e transferir, passam a ideia de que a força exercida pelo jogador na bola, é transferida à bola, ou seja, como se a força ficasse impregnada no objeto, o que alude a uma concepção de *impetus* (Philoponus-Buridan). É importante que a frase seja trabalhada pelo professor em sala de aula, com a intenção de esclarecer melhor seu real significado; a frase poderia ser reescrita da seguinte maneira: “Um atacante de voleibol exerce um grande esforço físico na bola no momento da cortada”.

No entanto, todos os outros trechos do capítulo que tratam de força, fazem alusão à categoria Cartesiana-Newtoniana, como os seguintes:

- Às vezes, a **força** aplicada sobre ele é tão intensa que, além de **modificar seu movimento**, pode amassá-lo ou quebrá-lo (p.142);
- Outro efeito possível da aplicação de uma **força** é a **mudança da velocidade** (p.142);
- Mas não basta dar apenas um forte empurrão ou puxão no caixote. **A força precisa ser constantemente aplicada** na direção para onde se quer transportá-lo e com o sentido

apropriado, caso contrário, **em razão do atrito entre o chão e o caixote**, se deixarmos de aplicar essa força, **ele para** (p.144) (grifo dos autores).

Neste último trecho, os autores explicam o motivo pelo qual um corpo posto em movimento para logo após algum tempo. Isso não ocorre porque a força “impressa” no objeto acaba, como se pensava séculos atrás, e sim porque existe outra força, contrária ao movimento, e que é a responsável por alterar a velocidade do objeto, diminuindo seu valor. Essa força é chamada de força do atrito.

No trecho abaixo, os autores discutem o papel fundamental que a massa de um corpo tem na relação força e variação de velocidade:

- Quanto maior a massa, maior será sua resistência à mudança de velocidade (p.145).

Gostaríamos de esclarecer que o entendimento conceitual de massa foi de extrema importância, não somente para o entendimento conceitual de força, mas principalmente para a análise correta do movimento, uma vez que a velocidade não é o único fator a ser considerado. Ressaltamos que à época, um dos problemas mais importantes na área hoje conhecida como mecânica, dizia respeito ao entendimento desta problemática, ou seja, de fato, o que pode influenciar no movimento de um corpo? Percebemos pela análise da história da ciência, que várias foram as tentativas para que se chegasse à conclusão satisfatória de que a massa e a velocidade interferem de forma simultânea no movimento. Percebemos que existe uma lógica no pensamento, uma ordenação que se fez necessária para uma compreensão mais clara e objetiva desta problemática. Em outras palavras, houve a necessidade da compreensão dos conceitos de massa, quantidade de movimento, e só depois, o de força.

Tendo em vista os comentários feitos acima, inferimos que esta ordenação é importante, porque o conceito de força é entendido com base na mudança de movimento, no entanto, ao analisar esta coleção, o que mais nos incomodou foi o fato de os autores utilizarem a mesma definição de força contida no livro **Principia** de Newton, de que a força que provoca mudança no movimento, sem explicar inicialmente o que é o movimento. Esta forma de exposição do conteúdo nos parece, no mínimo, incoerente, e precisa ser trabalhada pelo professor em sala de aula.

De forma geral, aspectos históricos da ciência podem ser encontrados na coleção, principalmente na abertura dos capítulos e no final deles, em seções denominadas “A história Conta”, mas apenas como curiosidades ou como contextualização para o assunto a ser introduzido.

Livro 3

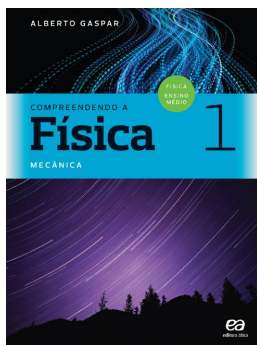


Figura 5
Em: (BRASIL, 2015)

Esta coleção se enquadra naquela que estabelece autores mais antigos na escrita de livros didáticos de Física. Alberto Gaspar é licenciado em Física e possui experiência em ensino nessa área.

Alberto Gaspar, em sua coleção, apresenta aos leitores uma disposição de conteúdos bem parecida com a da maioria dos autores. No caso do volume 1, inicia por cinemática, depois dinâmica, energia e gravitação, conteúdos que estão dispostos em unidades.

As três leis de Newton são trabalhadas na unidade 3, denominada de “Força e Movimento”, e quantidade de movimento é trabalhada na unidade 4, referenciada como “Leis da Conservação”, junto com o estudo de energia. O autor inicia o capítulo 8 do volume 1 desta coleção com a definição cotidiana de força, e logo em seguida, apresenta a primeira lei de Newton, fazendo considerações teóricas a respeito da relação força-movimento para um corpo, levando em consideração a presença da força de atrito. Logo após, o autor introduz a segunda lei de Newton, explicando a relação proporcional entre força, massa e aceleração, apresenta alguns tipos de forças, como força peso, normal e tensão, e finalmente a terceira lei. Nos quatro capítulos que abordam as três leis, uma característica marcante é a presença volumosa de exercícios matemáticos, resolvidos e propostos, sendo que as discussões teóricas acontecem somente na introdução dos conceitos. No que diz respeito ao conteúdo que envolve quantidade de movimento, este é abordado somente no capítulo 17, e a única relação estabelecida entre este conceito e a definição original de força ocorre por meio de um boxe histórico que aborda a definição contida no **Principia** para este conceito. Quanto à categorização, esta obra se enquadra na categoria Cartesiana-Newtoniana, como podemos perceber pelos trechos abaixo:

- Exemplo do esporte olímpico curling: do ponto de vista da Física, as “varredoras” modificam a superfície do gelo para que as **forças exercidas** pela pista **acelerem a pedra** adequadamente, ou seja, para que, em cada lançamento, a **velocidade da pedra tenha seu módulo, sua direção e seu sentido modificados** e orientados conforme as “varredoras” desejam (p.108);
- Para **manter o corpo em movimento, não há necessidade de força**, como Galileu percebeu, mas, ao contrário, **a existência de força é necessária para fazer o movimento cessar** (p.110);
- Se dermos um empurrão nesse bloco, ele se deslocará uma distância Δx_1 **até parar, em decorrência do atrito entre o bloco e o plano** (p.111) (grifo dos autores).

Por estes exemplos, fica claro que o autor associa corretamente a presença de força com a alteração do movimento de um corpo, e também explica a desaceleração de um objeto em decorrência da força de atrito, o que está de acordo com a definição de força do paradigma Newtoniano.

A partir da análise desta coleção, mais especificamente dos capítulos que tratam sobre as leis de Newton, inferimos que esta obra se apresenta contextualizada e que há pouca inserção da história da ciência no decorrer do volume 1, com exceção da unidade 5, “Gravitação e Fluidos”, na qual praticamente todos os capítulos possuem textos históricos, talvez pelo próprio caráter histórico do conteúdo.

Livro 4



Figura 6
Em: (BRASIL, 2015)

Esta coleção se enquadra dentro do critério de escolha que define o material como uma proposta diferenciada na abordagem dos conceitos científicos. Diferentemente das outras treze coleções que fazem parte do PNLD-Física 2015, esta é a única que aborda os conceitos de

mecânica nos três volumes do Ensino Médio. Portanto, encontramos e analisamos o conceito de força nos três volumes, sendo que no terceiro, o enfoque às leis de Newton é maior.

Esta obra, também se diferencia das demais, por apresentar em um único volume, uma sequência de conteúdos pertencentes aos três anos do Ensino Médio. Dessa forma, no primeiro ano, o aluno pode ter contato com os conteúdos específicos de sua série, mas também com conteúdos das séries seguintes, que são apresentados na forma de curiosidades e/ou textos históricos, que debatem a respeito de algum conceito científico.

Os livros desta coleção foram escritos por seis autores, dos quais três, Osvaldo Canato Jr., Carlos Aparecido Kantor e Marcelo de Carvalho Bonetti, possuem licenciatura em Física. Luís Carlos de Menezes e Viviane Moraes Alves são bacharéis em Física; Lilio Alonso Paoliello Jr. é licenciado e bacharel em Matemática. Todos os autores possuem experiência em ensino, seja no Ensino Médio, em cursos de graduação ou de pós-graduação.

No que diz respeito à segunda lei de Newton, os autores iniciam o volume 1 com a definição e exemplificação de quantidade de movimento e sua conservação, para só depois introduzir o conceito de força. Percebemos na ordenação de apresentação dos conceitos, uma preocupação dos autores em manter uma “fidelidade” histórica, uma vez que Newton, em seu **Principia**, estabeleceu primeiramente o conceito de quantidade de movimento para depois introduzir o conceito de força em função desta, da mesma forma como fizeram os autores desta obra.

No que diz respeito à categorização, relacionamos o conceito de força apresentado no livro com aquele da categoria pré-definida, Cartesiana-Newtoniana, uma vez que os autores definem a força como proporcional à aceleração, e explicam que a força, após ter sido aplicada em um corpo, não mais permanece nele, sendo que o motivo pelo qual o corpo em movimento para é em decorrência de uma outra força, a força de atrito, que é a responsável por desacelerá-lo. No entanto, advertimos os autores de que determinados trechos dos livros podem induzir a uma concepção equivocada da segunda lei de Newton, sendo importante sua revisão em edições posteriores do material didático. Também é necessária a atenção do professor ao trabalhá-los em sala de aula. Seguem alguns trechos retirados dos três volumes, que evidenciam os comentários expostos.

- Objetos sob a ação de forças não equilibradas têm seu **estado de movimento** continuamente **modificado** (V.1, p.188);

- ... as forças são responsáveis por promover e **variar** o movimento dos objetos sobre os quais atuam e que o efeito de uma força sobre o movimento depende também do tempo de atuação (V.1, p.188);
- Quanto maior o valor dessa força, maior a **variação** da quantidade de movimento produzida (V.1, p.190);
- A quantidade de movimento definida por Newton como proporcional à velocidade do objeto e à sua massa,..., é uma medida da inércia do movimento, que só se **modifica** pela ação de forças externas (V.2, p.195);
- Se um objeto estiver isolado, livre de forças, ou se as forças agindo sobre ele forem canceladas, seu **estado de movimento** não se altera, ou seja, ele mantém sua velocidade (e permanece parado, se já estiver) (V.3, p.125);
- Parecida com isso é a situação de quem entra correndo em uma área ensaboadas: **não havendo atrito para freamento**, manterá seu **estado de movimento...** até encontrar um obstáculo (V.3, p.126) (grifo dos autores).

Estes exemplos evidenciam a coerência da conceituação de força realizada pelos autores, com aquela da categoria Cartesiana-Newtoniana. Nesta conceptualização, é de extrema importância que fique muito claro, que, de acordo com a segunda lei de Newton, a força é proporcional à aceleração do objeto, ou seja, sempre que se tem uma força resultante não nula atuando em um corpo, este terá uma variação de sua velocidade, podendo aumentá-la ou diminuí-la. Por isso, os verbos modificar ou alterar, ou qualquer outro sinônimo, são importantes nesta definição, pois associam a força com a variação da velocidade (aceleração), e não simplesmente com a velocidade.

Percebemos também, que os autores utilizaram o termo “estado de movimento” nas definições das três leis, termo que foi utilizado a princípio por Descartes, e posteriormente por Isaac Newton. Isso demonstra que os escritores têm conhecimento sobre história da ciência, o que é muito importante, uma vez que no livro encontramos alguns textos históricos, que precisam estar embasados em literatura científica.

Por fim, ao relacionar a força de atrito com a diminuição da velocidade do corpo, os redatores corroboram para afirmar o conceito de força, e também contrariam a hipótese muitas vezes recorrente, de que a força aplicada em um corpo permanece nele e diminui com o tempo, o que explicaria o seu repouso.

Alguns trechos, entretanto, podem induzir um entendimento equivocado do conceito de força (próximo ao Aristotélico, ou ao do *impetus*), e que devem ser discutidos e clarificados pelo professor em sala de aula. Os trechos são:

- A velocidade que ela vai adquirindo depende da intensidade da força (Segunda Lei de Newton) (V.3, p.126).

Este trecho, da forma com está escrito, pode induzir em um primeiro momento, à relação força proporcional à velocidade, até mesmo porque, na página 117 deste mesmo volume, os autores colocam o que seria a definição de força aristotélica, e que se aproxima muito da definição da página 126, que é denominada no livro de newtoniana. Vejamos:

- Nesses movimentos forçados, a velocidade adquirida pelo objeto seria proporcional à força aplicada, que só agiria pelo contato (V.3, p.117).

Dessa forma, sugerimos sua reescrita com o objetivo de explicitar que a força resultante provoca a variação da velocidade, evitando possíveis confusões. Vejamos outro trecho:

- E uma bola de bilhar, que não tem movimento próprio ou motor, como é possível que se mova? Nesse caso, é preciso transferir-lhe o movimento, do taco ou de outra bola, e, aqui também, as leis de Newton são válidas: **se a bola não receber a força** do impacto do taco ou de outra bola, ela permanecerá em repouso sobre a mesa (primeira lei de Newton); **quanto mais violento for o choque, maior a velocidade com que a bola será impelida** (segunda lei de Newton);. (V.3,p.127) (grifo dos autores).

O comentário feito acima também é pertinente a este trecho. No entanto, além deste parágrafo induzir a uma concepção de força aristotélica, também pode induzir a uma concepção de força próxima daquela do *impetus* (Philoponus-Buridan). Quando os autores dizem que “se a bola não receber a força”, podem sugerir que a força feita na bola permanece na mesma, dando uma ideia de *impetus*.

De acordo com o dicionário **Aurélio de Língua Portuguesa**, o verbo receber pode ter o sentido de “entrar na posse de algo”, como no exemplo, “os filhos receberão a herança”, portanto, os autores ou até mesmo os professores em suas aulas, poderiam evitar o uso deste

verbo, e a referida frase poderia ser dita de outra maneira, com o intuito de amenizar possíveis más-interpretações. A frase poderia ser reescrita da seguinte forma: “se o taco não exercer uma força na bola, ela permanecerá em repouso sobre a mesa... ”.

Diante do processo de categorização, decidimos categorizar esta concepção de força como Cartesiana-Newtoniana, por entender que na maior parte do texto referente a este assunto, os autores apresentam uma definição adequada e clara deste conceito, apesar dos dois últimos trechos citados.

De forma geral, consideramos esta coleção bem contextualizada, fazendo pouco uso da história da ciência, principalmente nos volumes 1 e 3, e no caso do volume 2, há um pouco mais de elementos históricos, principalmente nos capítulos que falam sobre Astronomia.

Em nossa opinião, o fato de haver pouca inserção de história da ciência na coleção não é um problema, visto que das vezes que foi utilizada, consideramos seu uso adequado, porque não foi utilizada simplesmente para narrar fatos ou curiosidades, mas sim para a contextualização de conteúdos, ou seja, a história da ciência foi utilizada como ferramenta de problematização de conceitos, como podemos verificar no volume 1, páginas 174, 175 e 176, nas quais os autores utilizam a história do desenvolvimento conceitual de quantidade de movimento, para definir este mesmo conceito, e posteriormente a segunda lei de Newton.

Livro 5



Figura 7
Em: (BRASIL, 2015)

Esta coleção se enquadra no critério que estabelece autores novos na escrita de livros didáticos de Física. São quatro os autores desta obra; Blaidi Sant`Anna é licenciado em Física, Glorinha Martini é mestre em Ciências, Hugo Carneiro Reis é doutor em Ciências e Walter Spinelli é doutor em Educação. Todos os autores possuem experiência na área de Ensino.

Os autores iniciam o conteúdo de mecânica explicando a primeira e terceira leis de Newton, contextualizam este conteúdo com o cotidiano dos alunos, utilizando como exemplos o cinto de segurança e outros dispositivos de retenção. Em seguida, eles abordam a diferença conceitual entre massa e peso, apresentam alguns tipos de força, como a normal, elástica e a força de atrito, e finalmente, discutem a relação força-movimento com base na segunda lei de Newton. Ao contrário das outras coleções, nesta, os autores não utilizaram o termo “estado de movimento” para conceituar força, e também, abordaram o conceito de quantidade de movimento separado do conceito de força, no mesmo volume (1). No entanto, o fazem apenas no penúltimo capítulo do livro, treze capítulos após as três leis terem sido enunciadas.

Um ponto que gostaríamos de destacar por julgarmos interessante para análise, é que os autores dividiram os conteúdos em unidades, abordando as leis de Newton e aplicações dessas leis em um total de quatro unidades, energia em outras três e quantidade de movimento em outras duas, diferentemente de outras coleções, que abordam quantidade de movimento e as leis newtonianas em uma mesma unidade, ou quantidade de movimento na mesma unidade que energia. Esta separação de conteúdos em unidades distintas sugere uma desvinculação de conceitos, como se cada unidade iniciasse e encerrasse um conteúdo, que por sua vez, não tem relação com o conteúdo da unidade anterior ou posterior, impressão esta corroborada pela própria atitude dos autores, que não se esforçaram para evidenciar o contrário.

No que diz respeito à conceitualização de força, julgamos que ela está adequada com a categoria Cartesiana-Newtoniana, como podemos perceber pelos trechos citados abaixo:

- Definição da Segunda Lei de Newton: um corpo **altera sua velocidade** se sobre ele atuar um conjunto de forças cuja resultante não é nula (p.133) (grifo dos autores).

Podemos perceber que os autores substituem o termo estado de movimento pela palavra velocidade, o que na prática não prejudica o entendimento conceitual considerado como o correto dentro do paradigma newtoniano. Abaixo, outros exemplos nos quais percebemos a relação adequada de força com a variação da velocidade (aceleração):

- A retirada da **força** exercida nos pedais não provocaria a **diminuição de velocidade** da bicicleta se não houvesse **forças externas** atuando sobre ela. Quanto mais

conseguirmos **reduzir as influências externas**, maior será a duração do movimento (p.109);

- Para que um corpo **altere o módulo, a direção ou o sentido de sua velocidade**, ou seja, acelere, é necessária **a ação de força** (p.133);
- Exemplo da aplicação da Segunda Lei em esportes: quanto **maior o valor da força** que a atleta aplicar no disco durante o giro, **maior será a aceleração** adquirida pelo disco (p.133) (grifo dos autores).

De forma geral, esta coleção apresenta-se bem contextualizada, mas faz pouco uso da história da ciência. Percebemos e encontramos elementos históricos em boxes e na abertura de capítulos, porém, sem discussões que pudessem suscitar reflexões críticas. Como de praxe, o capítulo que mais aborda textos históricos é o referente às leis de Kepler, pelo próprio caráter histórico deste conteúdo.

Livro 6



Figura 8
Em: (BRASIL, 2015)

Esta coleção se enquadra na categoria que estabelece uma proposta diferenciada para apresentação do conteúdo, pois aborda as leis de Newton no volume 1, e o conteúdo de quantidade de movimento somente no volume 2, enquanto as outras coleções abordam os dois conteúdos sempre no mesmo volume.

Todos os autores desta coleção, a saber, Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira, Alexander Pogibin, Renata Cristina de Andrade Oliveira e Talita Raquel Luz Romero, são licenciados em Física e atuam ou já atuaram na área de ensino.

Os autores iniciam a unidade 3 do volume 1, identificada como “Dinâmica – movimento e sua causa”, explicando o significado do termo força no dia a dia, e quais os seus

efeitos. Em seguida, apresentam alguns tipos de força, como a força peso, normal, tração, elástica e força de atrito. Os autores também discutem a estática e equilíbrio de um corpo, momento de uma força, máquinas simples, equilíbrio em fluidos, e posteriormente, as leis de Newton. Consideramos que a relação força e movimento estabelecida pelos autores está de acordo com aquela da categoria Cartesiana-Newtoniana. Citamos abaixo alguns trechos que exemplificam:

- Do ponto de vista de um sistema físico, **equilíbrio** é a condição na qual as **forças** que atuam no sistema se compõem de maneira a **não provocar alterações em seu estado de movimento ou repouso** (p.169);
- A ideia básica contida nessa lei é que, sem a ação de forças, os corpos permanecem como estão: em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Ou seja, **um corpo não precisa de força para manter seu estado de movimento ou de repouso** (p.190) (grifo dos autores).

Neste último trecho, os autores contradizem o argumento aristotélico de que é necessária uma força resultante para manter o movimento de um corpo. No entanto, acreditamos que eles deveriam deixar claro, que na prática, isso não ocorre, ou seja, precisamos de uma força resultante para manter o movimento, por causa da influência da força de atrito.

Outro trecho:

- ... ela (Segunda Lei de Newton) estabelece que **a mudança de movimento** de um corpo **é proporcional à resultante das forças** atuando nele. Em outras palavras, **falar em mudança de movimento significa se referir à aceleração** (p.191) (grifo dos autores).

A definição dada acima pelos autores corresponde àquela da segunda lei de Newton, e podemos perceber que ela está de acordo com a estabelecida no **Principia**. Após esta definição, os autores discutem alguns exemplos envolvendo a relação proporcional entre massa, força e aceleração, semelhante ao que Newton fez em seu livro, e também discutem a relação entre força e movimento em elevadores. Vejamos alguns trechos que a exemplificam:

- ...ao aplicar uma mesma **força** em dois **corpos com massas diferentes**, será mais difícil **mudar a velocidade** daquele cuja massa é maior... (p.192);
- Quando o elevador está em repouso ou se move com velocidade constante, a resultante é nula; portanto, a força ‘para cima’, força normal, é igual à força ‘para baixo’, força peso. Ou seja: $\mathbf{N} = \mathbf{P}$ (grifo dos autores).

Pelo exposto, fica claro que a abordagem realizada nesta coleção sobre a segunda lei está de acordo com aquela evidenciada na categoria Cartesiana-Newtoniana. Percebemos os esforços dos autores em contextualizar o conteúdo e exemplificá-lo com situações cotidianas, bem como em apresentar o conceito de força e as relações proporcionais entre força, massa e aceleração, de forma semelhante à que é apresentada no **Principia**. Contudo, Newton entende força como o agente que é capaz de modificar, variar o movimento de um corpo, e por isso, em seu livro, ele tem a preocupação de definir o que ele entendia por quantidade de movimento, para só depois introduzir sua segunda lei, enquanto nesta coleção, os autores apresentam o conceito de força levando em consideração a variação de movimento de um objeto; porém, só definem quantidade de movimento no segundo volume, o que nos parece uma incoerência.

Ainda sobre este assunto, como dito anteriormente, os autores definem quantidade de movimento no segundo volume, junto com a definição de energia, e argumentam que a importância de seu estudo se justifica pelo fato de podermos associar à quantidade de movimento uma lei de conservação. Ora, a unidade que trata especificamente a respeito do conceito de força, é intitulada de “Dinâmica- movimento e sua causa”, ou seja, subentende-se que o foco principal nesta unidade deveria ser o estudo do movimento, e como consequência direta, a sua causa. Entretanto, este estudo não é realizado, pois para os autores, é mais importante o enfoque na conservação da quantidade de movimento do que propriamente no movimento e a sua relação com o agente que o modifica, no caso, a força.

Para finalizar, no que diz respeito à utilização de elementos históricos na obra, encontramos alguns textos e boxes que falam a respeito de fatos históricos importantes, como, por exemplo, a definição original da segunda lei de Newton, trazida no volume 2, e textos sobre cosmologia no volume 1, que são utilizados a título de curiosidade.

III. Tratamento dos resultados, inferência e interpretação

A categorização dos dados obtidos foi realizada tendo como unidade de registro a relação força e movimento; quanto à unidade de contexto, esta variou de obra para obra, sendo utilizado, na maior parte das vezes, o texto do capítulo na totalidade. A seguir, apresentamos os resultados quantitativos de nossa pesquisa, e as respectivas explicações.

1) 100% das coleções analisadas corresponderam à conceitualização de força semelhante àquela proposta pela categoria Cartesiana-Newtoniana.

Com base em nosso levantamento histórico para o desenvolvimento do conceito de força, procuramos ao analisar as seis coleções, encontrar elementos que pudessem nos ajudar a categorizar o conceito de força presente em cada uma delas em uma das categorias definidas a priori, lembrando, Aristotélica, Philoponus-Buridan e Cartesiana-Newtoniana. Utilizamos como elemento principal a relação força-movimento estabelecida pelos autores.

No caso das obras analisadas, percebemos no decorrer dos capítulos que abordaram o conteúdo das leis de Newton, a preocupação dos autores em associar o efeito de uma força resultante com a variação da velocidade de um corpo, ou em outros termos, com a alteração do seu estado de movimento (aceleração), o que é coerente com a definição dada por Newton em sua segunda lei, o que justifica o fato das seis coleções se enquadrarem na terceira categoria.

O fato de alguns volumes trazerem exemplos ou explicações inadequadas com relação à definição de força newtoniana, como constatamos na seção anterior, em nossa opinião, não invalida o resultado obtido. Estes exemplos são encontrados em quantidade muito pequena, e podem ser utilizados pelo professor em sala de aula como situações problematizadoras, com o objetivo de evitar más interpretações. No entanto, salientamos a importância de serem corrigidos pelos autores nas futuras edições.

2) 16,6% das coleções apresentaram a definição conceitual para quantidade de movimento antes de definir a segunda lei de Newton em função desta.

A recapitulação histórica do conceito de força realizada nesta dissertação foi de suma importância, porque nos permitiu uma compreensão, mesmo que pequena, da disposição cronológica dos fatos, dos argumentos utilizados e principalmente das explicações sugeridas

para a problemática envolvendo o movimento. Dentro desta problemática, o interesse principal foi o entendimento de como um objeto consegue manter o seu movimento; as consequências desse interesse foram as várias teorias sugeridas, como a de Aristóteles, de Buridan, de Descartes e outros, como já vimos.

Estas teorias partiram do pressuposto de que era necessária uma força para manter este movimento, ou causar o movimento em um corpo inicialmente em repouso, mas a grande questão era, a quais fatores esta força seria proporcional? À velocidade, à resistência oferecida pelo meio, ao peso do objeto?

A história da ciência nos mostra que este problema só foi “resolvido” satisfatoriamente quando se teve a compreensão de que a velocidade não era o único fator que influenciava no movimento de um corpo, pois a massa do objeto desempenha um papel fundamental, já que também pode ser entendida como uma resistência natural ao movimento. Entretanto, não podemos considerar a massa isolada da velocidade, mas sim, as duas juntas, pois ambas interferem simultaneamente no movimento. A essa associação entre massa e velocidade denominamos de quantidade de movimento.

Foi necessária a compreensão do conceito de quantidade de movimento para só então termos uma definição conceitual de força. Percebemos pela história que esta percepção foi sendo construída no decorrer dos anos e culminou com as pesquisas de Newton, cientista que conseguiu estabelecer uma definição adequada para este conceito. Newton tinha consciência destas implicações, tanto que em seu livro **Principia**, ele primeiramente colocou a definição de massa e quantidade de movimento, para só depois enunciar a sua segunda lei em função da variação desta última.

Com base no exposto, surge uma pergunta: por que os autores de livros didáticos insistem em definir força e quantidade de movimento como conceitos que não estão relacionados? Por que dizer que a força provoca alteração de movimento em um corpo, se nem ao menos a definição de movimento foi dada? Isto nos parece uma grande incoerência, histórica e lógica!

A respeito destes comentários, Kuhn (2007) sugere um possível entendimento para esta problemática. Ele diz que isso ocorre porque os manuais de divulgação científica, como, por exemplo, os livros didáticos, são produzidos somente a partir dos resultados de uma revolução científica, não se levando em consideração o processo que culminou nesta revolução.

Este percentual da nossa pesquisa evidencia que apenas uma coleção definiu primeiramente o conceito de quantidade de movimento para só depois definir força em função

desta. As outras cinco coleções utilizaram a definição de força newtoniana, porém, definiram quantidade de movimento posteriormente à definição da segunda lei, em capítulos diferentes, em unidades diferentes e até mesmo, algumas vezes, em volumes diferentes, como se fossem conceitos completamente desassociados. Em relação a isso, um fato que nos chamou a atenção foi que muitos autores preferiram trabalhar quantidade de movimento na mesma unidade de energia. Entendemos que o objetivo destes autores é o de priorizar o caráter conservativo da quantidade de movimento, ao invés da sua relação intrínseca com o conceito de força.

Durante as análises dos livros, procuramos também verificar se havia a presença de elementos históricos nas coleções. Esta análise não faz parte de nossos objetivos de pesquisa; no entanto, a realizamos porque tínhamos a intenção de verificar o modo como a história da ciência estava sendo utilizada. Percebemos que os autores utilizam a história como contextualização para o conteúdo que será estudado, ou como curiosidades. A impressão que temos é que, da forma como é utilizada, a história da ciência é simplesmente mais um requisito a ser cumprido pelos autores. Temos consciência que é extremamente difícil fazer uso da história no ensino de forma satisfatória. Contudo, acreditamos que uma boa forma é utilizá-la como problematização para o estudo de algum conceito científico, de maneira parecida com a que encontramos no Livro 4 (Kantor), no qual os autores utilizam a história do desenvolvimento do conceito de quantidade de movimento como problematização para o estudo do conceito de força (V.1, p.174-176).

3) 83,3% das coleções abordaram e discutiram a influência da força de atrito no movimento de um objeto.

Como nos aponta Gomes (2008), a definição de força newtoniana é extremamente idealizada, pois trabalha com situações hipotéticas, como aquelas nas quais o atrito não existe. Por isso, a compreensão das três leis de Newton em situações cotidianas se torna extremamente difícil, uma vez que o atrito existe, e na maior parte das vezes, não podemos desprezá-lo.

Em nosso ponto de vista, consideramos essencial que, ao explicar as leis de Newton, leve-se em consideração a presença das forças dissipativas, como, por exemplo, a força de atrito, e que se utilizem exemplos nos quais fique claro que a necessidade de aplicação constante de uma força em um corpo se deve, única e exclusivamente, por causa da força de atrito, que é a responsável por diminuir o movimento de um corpo.

No caso de nossa pesquisa, este percentual de 83,3%, corresponde a um total de cinco coleções que fizeram uso de exemplos, no decorrer dos capítulos sobre as leis newtonianas, nos quais identificamos a presença da força de atrito como responsável por desacelerar um corpo. Entretanto, consideramos a quantidade de exemplos utilizados muito baixa. Esses exemplos devem ser insistentemente apresentados ao leitor no decorrer das explicações e dos exercícios propostos, não somente no tópico que trabalha especificamente a força de atrito, pois eles podem ajudar em uma compreensão mais adequada das leis newtonianas.

6 APONTAMENTOS METODOLÓGICOS PARA O ENSINO DA SEGUNDA LEI DE NEWTON

A segunda lei de Newton é um conceito específico do Ensino Médio, que faz parte do conteúdo estruturante movimento. O seu ensino e aprendizagem são considerados difíceis, porque esta é uma lei extremamente idealizada, o que requer do aluno, principalmente, um grande poder de abstração (CAMARGO, 2000; GOMES, 2008; BELLUCCO; CARVALHO, 2014).

A partir da pesquisa que realizamos, três pontos importantes emergiram de nossa reflexão sobre a análise. Neste capítulo, iremos sugerir-los como apontamentos que o professor pode utilizar em sala de aula, com o objetivo de melhorar a compreensão dos alunos sobre o conteúdo das leis de Newton, mais especificamente sobre a segunda lei. Estas reflexões são a respeito da disposição e do ensino dos conteúdos e do vocabulário utilizado em sala de aula. Seguem nossos apontamentos:

1) Estudo do conceito de quantidade de movimento antes da segunda lei de Newton.

Historicamente, percebemos no paradigma Cartesiano-Newtoniano que primeiro foi estabelecido o significado de quantidade de movimento, para só depois ser introduzido o conceito de força em função desta, o que foi essencial. Carvalho comenta:

A conservação da quantidade de movimento foi o germe da Física Clássica e desempenhou um papel básico na formulação das leis de Newton. Com ela se estabeleceu uma rede de relações lógicas entre massa, velocidade, tempo, força, impulso e aceleração (1989, p.9).

Entendemos que foi necessário, primeiramente, compreender o repouso e o movimento, para só então termos o entendimento do agente capaz de modificar estes estados, no caso, a força. Newton não estabeleceu primeiramente o conceito de quantidade de movimento por acaso, mas sim porque ele tinha consciência de que essa definição era essencial para a compreensão de suas leis.

Sugerimos então, que em seus planos de aulas, os professores procurem trabalhar primeiro o conceito de quantidade de movimento, utilizando problematizações, nas quais seus

alunos percebam a influência simultânea da massa e da velocidade no movimento de um corpo, para só depois introduzirem a segunda lei de Newton.

Ainda é importante que, ao apresentar o conceito de força teoricamente como o agente que provoca a variação do movimento de um objeto, os professores também o façam matematicamente, utilizando a equação de força escrita como $F = m \cdot \Delta v / \Delta t$. Devem ser incluídos exercícios teóricos e matemáticos, com base na ideia de que força é proporcional à variação da quantidade de movimento, ao invés de utilizarem somente a expressão de força proporcional à aceleração.

Sabemos que utilizar uma ou outra forma de expressão é indiferente, já que ambas escritas são análogas, pois podemos entender a variação do movimento como um sinônimo de aceleração. No entanto, a impressão que temos, com base em nossa experiência de trabalho, é que, para os alunos, esses são termos completamente diferentes. Por esse motivo, insistimos que as duas formas de escrita da segunda lei sejam trabalhadas pelo professor.

Gostaríamos de frisar também que, com este apontamento, com vistas ao estudo de quantidade de movimento anterior ao de força, não estamos de forma alguma querendo sugerir uma linearidade no desenvolvimento científico. Apenas consideramos que a principal função do professor em sala de aula é o de mediar a compreensão de seus alunos, e a nosso ver, essa ordem de execução do conteúdo pode auxiliar nesta difícil tarefa.

2) O vocabulário utilizado em sala de aula.

Este segundo apontamento emergiu de nossa análise, e a nosso ver, é extremamente importante, visto que o vocabulário utilizado em sala de aula pelo professor pode ajudar os alunos a terem uma compreensão melhor do conteúdo, ou pode fazer com que tenham compreensões inadequadas do ponto de vista científico sobre algum conceito.

Tendo em vista o que foi dito acima, gostaríamos de enfatizar a importância de se utilizar verbos como variar ou aumentar na definição de força, pois como sabemos, de acordo com a categoria Cartesiana-Newtoniana, força é concebida como proporcional à aceleração de um corpo, ou seja, a variação de sua velocidade. Por vezes, utilizar somente a palavra velocidade pode levar ao entendimento de uma concepção equivocada desse conceito, como podemos verificar pelos comentários realizados no capítulo anterior (exploração do material). Veja o exemplo abaixo:

“O chute **alterou** a velocidade da bola”, ao invés de falar, por exemplo, que “O chute **recebido** pela bola fez com que ela **ganhasse** velocidade” (grifo dos autores).

O exemplo dado acima “O chute **recebido** pela bola fez com que ela **ganhasse** velocidade” é propício também para outro apontamento importante no que diz respeito ao vocabulário. Deve-se ter cuidado com o uso de verbos como receber ou transferir na explicação de situações que envolvam força e movimento, pois estes verbos conotam a ideia de que “algo substancial” foi passado de um corpo para outro. Dizer que um corpo recebe uma força sugere que essa força foi passada do agente motor para o corpo a ser movido, o que na prática não acontece, pois de acordo com interpretações modernas do paradigma newtoniano, a força só existe durante o contato dos corpos. Essa ideia, se não for bem trabalhada e discutida com os alunos, pode inferir uma concepção equivocada do conceito de força, semelhante àquela do *impetus*. Veja o exemplo:

“O chute **recebido** pela bola fez com que ela **ganhasse** velocidade” (grifo dos autores).

Pode ser reescrito utilizando-se o verbo exercer, por ser um verbo mais apropriado, veja:

“O chute **exercido** pelo pé na bola, fez com que ela **aumentasse** a sua velocidade” (grifo dos autores).

3) Relacionar a existência de forças externas com a diminuição do movimento de um corpo.

A segunda lei de Newton é considerada uma lei idealizada, visto que é válida somente para situações nas quais as forças externas não existem, ou em que podem ser desprezadas; por isso, sua compreensão adequada é difícil de ser assimilada.

A respeito deste comentário, Bellucco e Carvalho (2014) colocam: “(...) fazer perceber que um objeto pode estar em movimento sem haver uma força resultante o impulsionando é um grande desafio” (BELLUCCO & CARVALHO, 2014, p.47). Isso ocorre porque nas situações do dia-a-dia, as forças dissipativas existem, ou seja, sem combustível o carro não se

locomove; é necessário aplicar uma força contínua em um balanço para que a criança se divirta; a bola de futebol em movimento depois de um tempo para, e assim por diante.

Por isso é importante que o professor coloque e explique a influência dessas forças externas na relação força-movimento, e que discuta com seus alunos exemplos como os citados, para que eles percebam o limite de validade destas leis do movimento.

7 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, realizamos um estudo qualitativo com o objetivo principal de identificar e categorizar o conceito de força mecânica veiculado por livros didáticos de Física.

Para a análise, utilizamos uma amostra composta por seis coleções de livros, que foram escolhidos a partir da leitura flutuante do Guia de Livros Didáticos, PNLD 2015, distribuídos a todas as escolas públicas brasileiras. Fizemos um levantamento histórico do desenvolvimento do conceito de força, tendo como base cinco autores que consideramos importantes para a definição atual deste conceito no paradigma newtoniano, são eles: Aristóteles, Philoponus, Buridan, Descartes e Newton. Compreendemos que estes cientistas citados não foram os únicos no decorrer da história a pensar sobre a relação força-movimento; no entanto, sabemos que seria difícil reunir todos os nomes que de fato contribuíram para o desenvolvimento desse conceito. Além do mais, supomos que um trabalho como este necessitaria de um tempo maior do que aquele que dispúnhamos.

Esta revisão histórica foi importante para nosso trabalho, porque a partir dela emergiram as nossas três categorias de análise: Aristotélica, Philoponus-Buridan e Cartesiana-Newtoniana. Com base nestas categorias, analisamos o material didático, pautados na análise de conteúdo proposta por Bardin (1977). Como unidade de registro, utilizamos a relação força-movimento, por entendermos que, ao analisar o movimento de um corpo não podemos, ou não temos como não falar em força. Para unidade de contexto, utilizamos o próprio texto do livro didático.

A análise dos dados obtidos suscitou três importantes resultados:

- 1) 100% do material verificado apresentou um conceito de força que podemos associar com aquele presente na categoria Cartesiana-Newtoniana.

Este resultado é positivo, porque mostra uma preocupação dos autores com a escrita da divulgação científica, e também que o programa de análise ofertado pelo governo em parceria com as universidades públicas está sendo benéfico. Um dado estatístico corrobora esta afirmação. No primeiro ano de análise dos livros de Física, apenas seis coleções foram aprovadas, e neste último PNLD, o percentual de aprovação foi de 70%, o que corresponde a um total de quatorze coleções (BRASIL, 2015; MORAES, 2011).

- 2) 83,3% das obras utilizaram exemplos que associam a diminuição do movimento de um objeto à presença de forças externas.

O resultado é tido como positivo, visto que tal associação é indispensável para uma boa compreensão das leis newtonianas. Contudo, consideramos a quantidade de exemplos propostos insuficiente; somado a isso, na maioria das vezes, eles não estavam associados diretamente com a primeira e segunda leis de Newton simultaneamente.

- 3) 83,4% das coleções não definiram o conceito de movimento antes do de força, mas definiram força em função do movimento.

Consideramos este resultado muito negativo, porque, historicamente, Newton pensou primeiramente no significado teórico de quantidade de movimento, para só então pensar no agente físico responsável por variar ou manter este movimento, ou como bem colocou Descartes, este estado de movimento ou de repouso. Analisando este fato, supomos que existe um pensamento lógico por trás desta ordenação, então deixamos a seguinte reflexão: Como entender força sem entender movimento se são conceitos intimamente relacionados, e a compreensão de um está na compreensão do outro? Acreditamos que esta seja uma reflexão de cunho histórico e epistemológico. Histórico, porque a própria história da ciência nos revela que primeiramente foi necessária a compreensão de que podemos estudar o estado de repouso ou de movimento de maneira análoga, ou seja, da mesma forma que não há a necessidade de uma força de repouso também não existe a necessidade de uma força para manter o movimento. Epistemológica porque os livros didáticos são os principais meios de divulgação científica nas escolas, sendo também responsáveis por uma vinculação distorcida da atividade científica, porque esses materiais descrevem resumidamente apenas o resultado final da atividade científica e não seu desenvolvimento. A respeito deste comentário Thomas Kuhn (2007, p.177) diz:

Por razões ao mesmo tempo óbvias e muito funcionais, os manuais científicos (e muitas das antigas histórias da ciência) referem-se somente àquelas partes do trabalho de antigos cientistas que podem facilmente ser consideradas como contribuições ao enunciado e à solução dos problemas apresentados pelo paradigma dos manuais.

E finalmente, colocamos algumas sugestões que acreditamos serem benéficas para o ensino das leis de Newton. Alertamos os professores com respeito ao uso de verbos como

receber e ganhar, que podem induzir a uma concepção de capital de força. Sugerimos que busquem em outras fontes de pesquisa, exemplos do cotidiano, que estejam relacionados com forças externas, por acreditarmos que esses exemplos podem facilitar a compreensão dos alunos no que diz respeito ao limite de validade das leis newtonianas. Sugerimos, ainda, que o professor defina a segunda lei com base no conceito de quantidade de movimento, de forma análoga à definição de Newton em seu **Principia**.

A nossa pesquisa é direcionada a todos aqueles cujo conteúdo possa interessar, mas especialmente e principalmente para os professores que ministram aulas no Ensino Médio, pois acreditamos que este estudo possa contribuir com o trabalho destes profissionais em sala de aula, auxiliando-os no debate de ideias com seus alunos. Esperamos que, a partir das reflexões propostas nesta pesquisa, os professores utilizem o livro didático com mais cuidado, que façam uma leitura mais crítica dos textos, analisando sua coerência teórica, histórica e epistemológica.

REFERÊNCIAS

ALÍS, Jaime Carrascosa. **El problema de las concepciones alternativas em la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen.** Valencia (Espanha): Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, v.2,n.2,p. 183-208, 2005.

ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. **Física.** São Paulo: Positivo, 2013.

BARBOSA, Roberto Gonçalves. **A teoria das representações sociais para estudo das concepções docentes no ensino da física em nossas escolas: a física Newtoniana.** 2007. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo.** Lisboa: 1977.

BELLUCCO, Alex; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton.**São Paulo: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.31, n.1, p.30-59, abr.2014.

BLINI, Ricardo Brugnonle. **A história da ciência nos livros didáticos: uma inserção descontextualizada.** 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

BONJORNO *et al.***Física.** São Paulo: FTD,2013.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Guia de livros didáticos: PNLD 2015: apresentação: Ensino Médio.** – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2014.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).** <portal.mec.gov.br/pnld/apresentação>. Acesso em 22 de agosto de 2016.

CAMARGO, Eder Pires de. **Um estudo das concepções alternativas sobre repouso e movimento de pessoas cegas.** 2000. 145f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências da UNESP – Câmpus de Bauru. UNESP, São Paulo.

CAREGNATO, Rita Catalina; MUTTI, Regina. **Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo.** Texto Contexto Enferm, Florianópolis, 2006 out-dez; 15(4): 679-84.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Física: uma proposta construtivista**. São Paulo: EPU LTDA, 1989.

COHEN, I. Bernard. **O Nascimento de uma nova Física**. São Paulo: EDART, 1967.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo dicionário Aurélio da língua Portuguesa**. Curitiba: Ed. Positivo, 2009.

FRANKLIN, Allan. **Principle of inertia in the Middle Ages**. American Journal of Physics, v.44, p.529-545, 1976.

FRISON, Marli Dallagnol *et al.* **Livro didático como instrumento de apoio para construção de propostas de ensino de ciências naturais**. Florianópolis: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**. São Paulo: Ática, 2013.

GASPAR, Alberto. **Cinquenta anos de Ensino de Física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade recolocar o professor no centro do processo educacional**. UNESP – Campus Guaratinguetá: Educação, ano 13, n.21, p.71-91, dez.2004.

GOMES, Luciano Carvalhais. **Concepções alternativas e divulgação: análise da relação entre força e movimento em uma revista de popularização científica**. 2008. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

KANTOR, Carlos Aparecido *et al.* **Quanta Física**. São Paulo: Pearson, 2013.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2007.

MARTINI, Gloria *et al.* **Conexões com a Física**. São Paulo: Moderna, 2013.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Estado de repouso e estado de movimento: uma revolução conceitual de Descartes**. PEDUZZI, Luiz *et al.* (org.). Temas de História e Filosofia da Ciência no ensino. Natal: EDUFRRN, p.291-308, 2012.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. **Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força**. Maringá: Revista Brasileira de Ensino de Física, v.22, n.4, dez. 2000.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. *et al.* **Galileu fez o experimento do plano inclinado?** Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v.7, n1. Maringá, 2008.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni; SAVI, Arlindo Antônio. **A sobrevivência do alternativo:** uma pequena digressão sobre mudanças conceituais que não ocorrem no ensino de Física. *Ciência & Educação* (Bauru), v.6, n1. 2000.

NEWTON, Isaac. **Principia**. São Paulo: Nova Stella, 1990.

PIETROCOLA, Maurício *et al.* **Física – conceitos e contextos:** Pessoal, Social, Histórico. São Paulo: FTD, 2013.

PRETTO, Nelson de Luca. **A ciência nos livros didáticos**. Salvador: EDUFBA, 1995.

RESQUETTI, Silvia Oliveira. **Como se movem os projéteis nos livros didáticos de Física e no vestibular? Inquirindo o Galileu sintético de hoje**. 2007. 177 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

SANTANA, Bianca; ROSSINI, Carolina; PRETTO, Nelson de Lucca. **Recursos educacionais abertos:** práticas colaborativas políticas públicas. Salvador: Edufba; São Paulo: Casa da cultura digital, 2012.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVEIRA, Fernando Lang da; MOREIRA, Marco Antonio; AXT, Rolando. **Estrutura interna de testes de conhecimento em Física:** um exemplo em mecânica. *Porto Alegre: Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didacticas*, v.10, n.2, 1992, p. 187-194.