



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL: UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM COM
OBJETIVO DE VIABILIZAR SUA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

ANDRÉ DA COSTA MARTINS

MARINGÁ
2016



ANDRÉ DA COSTA MARTINS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Maringá
Maio 2016

Aceleração gravitacional: uma proposta de abordagem com objetivo de viabilizar sua aprendizagem significativa

ANDRÉ DA COSTA MARTINS

Orientador:
Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação no do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes

Prof. Dr. Marcelo Freitas de Andrade

Maringá
Maio 2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha avó Custódia Campos da Costa mulher vívida, que com quase um século de vida ainda mostra clareza ao evidenciar seu orgulho pelas conquistas tanto minhas como de todos seus netos e filhos.

Dedico também ao meu sobrinho e afilhado Luca Martins Anastassakis que, com pouco mais de dois anos de vida, já me inspira e me faz crer na possibilidade de vivenciar um futuro mais digno não apenas para nossa família, mas para todas as formas de vida que aqui habitam.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fátima, Maíra e Manuela, minha mãe e irmãs, por sempre ter delas o apoio e incentivo que um filho/irmão deve ter nesse caminho. Sempre me senti confiante por ter delas crença e fé na minha capacidade de conseguir o que almejo e neste caso, mais esta vitória na vida: obrigado, eu amo vocês.

Agradeço ao meu pai, em sua memória, pelo exemplo como amante da natureza e Professor, que certamente me influenciou a escolher também uma formação na área ambiental, bem com em seguir carreira como Professor.

Agradeço a minha companheira e amada, Beatriz Couto Franco, inspiradora de mapas conceituais, pelo apoio diário e pelos incentivos com palavras, carinho e amor. Quero ainda mais conquistas, ao teu lado sempre, Floramada!

Agradeço a minha tia querida, Ana Luiza Costa Giani, pela atenção despendida nesses quase nove anos já vividos aqui no Paraná.

Agradeço ao Professor Dr. Luiz Antonio Afonso Giani “tio Luiz” pelas conversas sobre os mais diversos assuntos e incentivos na minha vida profissional.

Agradeço a minha prima “querida-coração”, Milena Costa Giani, que em 2007 me convidou para vir morar no Paraná e, desde então, sempre torceu por mim e comemorou junto comigo tudo de bom conquistado por mim em terras paranaenses.

Agradeço a minha madrinha, Célia Maria Martins, ao meu padrinho, Alcindo Costa Filho, às tias Lúcia Martins e Lucélia Martins e a minha tia Me. Maria Fernanda Campos Couto, todos distantes, mas com torcidas constantes por mim, sempre demonstrando zelo de mim. Isso é bacana mesmo. Estão no meu coração!

Agradeço a todos os camaradas da 1ª turma do MNPEF, pelos auxílios prestados e bons momentos compartilhados durante esses últimos anos dentro da Universidade.

Agradeço com um carinho especial a minha prima, Professora Dra. Andrea Tereza Martins Lobato, que sempre me incentivou a seguir a carreira acadêmica e auxiliou com dicas para elaboração do trabalho. Dedeia, valeu, minha cara!! Tu tens alguma dúvida da tua participação na elaboração de “Tetê” do meu aspirado “doutóra”?

Agradeço aos amigos e amigas espalhados pelo Brasil à fora, em especial Lídia Rios, Fernanda Oliveira, Carlos Veras, Antonio Moaci, Igor Oliveira, Marcus Carvalho e Me. Tiago Durans que sempre torceram por mim, sempre demonstrando apreço por nossas amizades, cada um do seu jeito sempre acreditou e sonhou comigo por algo em comum. Esse sentimento é muito gratificante, obrigado por existirem na minha vida: essa é nossa!

Agradeço aos novos camaradas que fiz em terras paranaenses que me ajudaram, cada um do seu jeito, a contornar problemas e situações difíceis nesses últimos anos. Cleonice Torino, sou imensamente grato pelos livros de Física que eu te pedia e tu pegavas na BCE com teu RA pra me emprestar e me permitir estudar fora de lá. Renan Ribeiro e Laura Tarcan, Clarinha é um sopro de esperança pros nossos futuros e nossas amizades também, quero vocês sempre amigos, me sinto muito bem perto de vocês. Ronny William, Carol Roza, Agatha Myiamoto, Caio Pierangeli, Raphael Marques, Claudio Azevedo, Bárbara Neves e Alan Lemos, sem vocês não seria tão agradável ter vivido esses últimos anos por aqui: valeu, galera!

Agradeço a Dona Maria da Conceição de Araújo, funcionária da Biblioteca Central da UEM, que sempre me recebeu com ânimo e disposição, sempre me ajudando com palavras de incentivos aos estudos fazendo graça com os meus esquecimentos e consequentes multas por atrasos nas devoluções dos livros à biblioteca.

Agradeço aos técnicos administrativos servidores da UEM Tatiana e Paulo que contribuíram com questões relativas ao desenvolvimento do MNPEF dentro da UEM e, conseqüentemente, viabilizaram condições para mais essa conclusão de curso de um discente do mestrado, a segunda do nosso polo.

Agradeço à Mariana Kimura, José Antônio Gentil, Pedro Teramon, Amauri Divino e Leandro Thomas companheiros de trabalho da Secretaria de Meio Ambiente que presenciaram meu sofrimento pelas noites mal ou não dormidas durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço o Secretário Municipal de Meio Ambiente, Umberto Crispim de Araújo, pela flexibilização de alguns horários dentro do expediente para que eu conseguisse terminar todos os créditos do MNPEF.

Agradeço aos Professores do MNPEF Dr. Luciano Carvalhais, Dr. Paulo Ricardo, Dr. Jusmar Bellini, Dr. Luciano Gonsalves, Dr. Ronaldo Viscovini, Dr. José Roberto e à Professora Dra. Hatsumi Mukai, pelas aulas, lições e mensagens de incentivo que foram fundamentais e serviram de auxílio para que eu pudesse chegar aqui.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Breno Ferraz de Oliveira, que se propôs a me orientar e auxiliar na elaboração deste trabalho mesmo sabendo que eu não possuía formação na área da Física e que, talvez, tal fato pudesse ser um fator que dificultasse a elaboração do presente trabalho: obrigado, Professor!

“Conhecer a si próprio é o maior saber.”
(Galileu Galilei)

RESUMO

ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL: UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM COM O OBJETIVO DE VIABILIZAR SUA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

André da Costa Martins

Orientador:
Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo UEM (MNPEF/UEM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O presente trabalho fundamenta-se teoricamente na explanação sobre alguns conceitos da teoria cognitivista ausubeliana, bem como na exposição de alguns aspectos físicos relacionados à aceleração gravitacional, com objetivo de que os Professores de Física utilizem o produto educacional, elaborado com base na referida fundamentação teórica, e assim possam propiciar parte das condições necessárias para que o aluno do ensino médio aprenda, de forma significativa, conceitos e grandezas físicas relacionadas à aceleração gravitacional. Partindo de uma dissertação sobre como trabalhar a relação entre minha formação (Tecnólogo em Meio Ambiente) e minha atuação como Professor de Física, o presente trabalho expõe algumas relações entre o Meio Ambiente e o ensino de Física, evidencia particularidades relacionadas à Física do ensino médio nos dias de hoje, esclarece como o processo ensino-aprendizagem pode ser facilitado por meio da teoria da aprendizagem significativa, trata sobre questões históricas do desenvolvimento de alguns conceitos físicos sobre os movimentos dos corpos, relata a realização do experimento do pêndulo simples, assim como apresenta avaliação dos questionários respondidos pelos alunos do curso pré-vestibular da Associação Beneficente Água Viva, previamente e posteriormente à realização do referido experimento. Por fim, por meio da avaliação dos questionários, foi possível constatar que os alunos que ainda encontram-se no ensino médio demonstraram maior capacidade de responder de forma satisfatória os questionários, bem como ainda há alunos que, mesmo com o experimento, o diálogo e toda a explanação sobre a aceleração gravitacional, possuem uma visão um tanto aristotélica sobre o movimento dos corpos. Diante das constatações, o produto educacional elaborado, relata aspectos históricos e físicos da aceleração gravitacional, dispõe de questionários, roteiro experimental, mapas conceituais e ilustrações em forma de quadrinhos, apresenta-se como um meio que contribua com a aprendizagem significativa de conceitos e grandezas físicas relacionadas à aceleração gravitacional.

Palavras-chave: Aceleração gravitacional, Ensino de Física, Meio Ambiente.

Maringá
Maio de 2016

ABSTRACT

GRAVITATIONAL ACCELERATION: A PROPOSED APPROACH WITH THE OBJECTIVE TO RESULT ITS MEANINGFUL LEARNING

André da Costa Martins

Supervisor:
Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM (MNPEF/UEM), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work is theoretically based on the explanation about some concepts from the ausubelian cognitive theory, as well as the exposition of some physics aspects related with gravitational acceleration, with the aim that Physics teachers use the educational product, elaborated based on the referred theoretical foundation, allowing them to propitiate part of the necessary conditions to high school students learn, in a significant way, concepts and physics magnitudes related to gravitational acceleration. Starting a dissertation about how I work the relation between my graduation (Environmental Technologist) and my practice as a Physics teacher, the giving work exposes some relations between the environment and physics teaching, highlights particularities related to high school physics nowadays, clarifies how the teaching-learning process can be facilitated trough the meaningful learning theory, that deals with the historical matters of the development of a few concepts of bodies movements, describes the simple pendulum experiment, also presenting the evaluation of the questionnaires answered by the students from the *pré-vestibular* of Associação Beneficente Água Viva, before and after the experiment. Lastly, when evaluating the questionnaire, it was possible to observe that high school students demonstrated higher capacity to answer in a satisfactory way, as well as students that, even with the experiment, the dialogue and all the explanation about gravitational acceleration, still have an aristotelian vision about bodies movements. Facing the findings, the elaborated educational product, reports historical and physical aspects from gravitational acceleration, features questionnaires, experimental script, concept maps and comic's illustrations, presents itself as a mean that contributes with a significant learning on concepts and physics magnitudes related with gravitational acceleration.

Key-Words: Gravitational acceleration, Physics education, Environment

Maringá
May 2016

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS	14
1.1 A minha realidade como Professor.....	14
1.2 O <i>insight</i> chave.....	15
1.3 A relação entre a Física e o Meio Ambiente.....	16
1.4 O presente trabalho e as pretensões do MNPEF.....	17
1.5 O ensino da Física no ensino médio nos dias de hoje.....	18
1.6 Justificativa embasada em expectativas.....	21
1.7 Definição do tema e da metodologia a seguir.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 A teoria ausubeliana.....	23
2.1.1 A aprendizagem significativa.....	23
2.1.2 Subsunçores, conhecimento prévio e ancoragem.....	24
2.1.3 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.....	26
2.1.4 Mapas conceituais.....	27
2.2 A Física da aceleração gravitacional.....	31
2.2.1 Aspectos históricos dos movimentos dos corpos.....	31
2.2.1.1 A antiguidade.....	31
2.2.1.2 O período medieval.....	34
2.2.1.3 Sobre os ombros de gigantes.....	38
2.2.2 A apreciação da gravidade.....	40
2.2.3 A aceleração gravitacional, suas aproximações e unidades.....	40

2.2.4 A forma da Terra e as conseqüentes interferências no valor da gravidade.....	42
2.2.5 O cálculo do valor da aceleração gravitacional.....	44
2.2.5.1 O valor da gravidade conforme a latitude.....	44
2.2.5.2 O cálculo da gravidade conforme a altitude.....	45
2.2.5.3 O valor de g por meio da realização do experimento do pêndulo simples.....	47
3. A REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DO PÊNDULO SIMPLES.....	52
3.1 Metodologia.....	53
3.2 Montagem e realização do experimento.....	53
3.4 Um diálogo.....	56
3.5 Analogia entre o movimento de oscilação do pêndulo e a queda livre.....	57
3.6 Serventia de grande valia.....	58
3.7 Registro fotográfico do experimento.....	60
4. A AVALIAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS.....	64
4.1 Análise dos questionários prévios.....	65
4.2 Análise dos questionários posteriores.....	68
4.3 Conclusão da avaliação.....	71
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	lxxvi
APÊNDICE.....	lxxx

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

1.1 A minha realidade como Professor

Mesmo não sendo licenciado e tendo como formação um curso de Tecnologia em Meio Ambiente, sou Professor de Física e Matemática em duas instituições onde as características das aulas e dos alunos divergem bem: uma é um curso pré-vestibular onde atuo como Professor voluntário há quatro anos e os alunos possuem grande variação de faixa etária, há tanto discentes ainda no ensino médio como também alguns alunos que pararam de estudar, mas possuem o interesse em concluir um curso de nível superior em uma instituição de ensino pública. A outra instituição em que atuo é um centro educacional de aulas de reforço, cujas aulas são particulares e essencialmente individuais para alunos do ensino médio de vários colégios tanto particulares como públicos.

Apesar de tratar, basicamente, dos mesmos conteúdos no decorrer dos anos letivos, sempre foi notório que o processo de ensino-aprendizagem (a aula) é bem distinto dentro das duas instituições. No curso pré-vestibular, as aulas acontecem uma vez por semana, durante um semestre e já são previamente preparadas com base em temas sequenciais, estabelecidos pela apostila que a instituição segue. Já no centro educacional, as aulas não possuem certa regularidade e são embasadas nos conteúdos de interesse dos alunos.

Em um geral, diferentemente do aluno do curso pré-vestibular, o aluno das aulas de reforço não possui tanto interesse no motivo pelo qual alguma equação é verdadeira, seu interesse é, na maioria das vezes, saber quais as unidades e/ou grandezas físicas se relacionam para que o mesmo decifre o “enigma” e consiga uma resposta adequada que satisfaça seu Professor, para que assim o discente tenha nota suficiente para aprovação no colégio.

O contraste entre os interesses dos alunos foi se mostrando evidente durante o decorrer dos semestres e, apesar de atuar com o mesmo empenho e método de ensino nas duas instituições, os discentes também diferem em sensibilidade para compreensão do novo conteúdo abordado. Tais fatos foram capazes de revelar que o processo de ensino-aprendizagem acontece de forma

diferenciada e depende também do interesse do aluno, como propõe a teoria ausubeliana que norteia o trabalho e será abordada posteriormente.

1.2 O *insight* chave

A teoria de ensino e aprendizagem que opto por seguir é a cognitivista, entanto, inicio o trabalho fazendo uso do termo *insight* definido pela teoria comportamentalista alemã da *Gestalt* com a intenção de evidenciar um fator relevante sobre como percebi que poderia utilizar “um método” para lecionar.

Moreira (2014) explica o termo citando Hill (1990), afirmando que em grande parte das vezes, a aprendizagem ocorre de forma inesperada, dando a sensação de que o conteúdo foi de fato compreendido. Evidencia que essa aprendizagem envolve *insight* e que o aprendiz que tem um *insight* vê a situação por uma nova perspectiva, a qual inclui entendimento de relações lógicas ou compreensão das conexões entre os meios e fins.

Em diálogos sobre minha formação e o fato de lecionar Física, após mostrar possíveis relações sobre o Meio ambiente e a Física, sempre solicito um *feedback* sobre as colocações feitas e, em um caso específico, a resposta de um conhecido propiciou “o *insight* chave” capaz de crer diferentemente sobre como deveria lecionar: “Não imaginava as relações por nunca ter aprendido a Física”.

“Aprender Física envolve conseguir imaginar e compreender as relações”. Assim concluí. Tal colocação propiciou a percepção de que a maioria dos alunos não entende a Física por não conseguir ver algo palpável e real nas equações e unidades. A partir daí, lecionar tornou-se uma questão também de evidenciar a relação entre a realidade vivenciada pelo aluno e o conteúdo que deve ser aprendido. Tal método foi-se mostrando capaz de facilitar o alcance dos objetivos de lecionar e de aprender.

Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem. Apresentar uma Física que explique a queda dos corpos, o movimento da lua ou das estrelas no céu, o arco-íris e também os raios *laser*, as imagens da televisão e as formas de comunicação. Uma Física que explique os gastos da “conta de luz” ou o consumo diário de combustível e também as questões referentes ao uso das diferentes fontes de energia em escala social, incluída a

energia nuclear, com seus riscos e benefícios. Uma Física que discuta a origem do universo e sua evolução. Que trate do refrigerador ou dos motores a combustão, das células fotoelétricas, das radiações presentes no dia-a-dia, mas também dos princípios gerais que permitem generalizar todas essas compreensões. Uma Física cujo significado o aluno possa perceber no momento em que aprende, e não em um momento posterior ao aprendizado (BRASIL, 2002, p.23).

1.3 A relação entre a Física e o Meio Ambiente

Desde o início da atuação como Professor expliquei-me não apenas para alunos, mas também para diversos profissionais, sobre algumas relações existentes entre as Ciências da Terra e as Ciências Exatas. No começo foi um tanto inquietante, visto que eu mesmo não sabia tão bem como evidenciar tais relações entre a natureza e as leis que a regem. Diante de tal fato, esclareci e positionei-me de forma que hoje, utilizo os *links* entre a Física que estudamos no colégio e a realidade da natureza com o intuito de viabilizar aprendizagem significativa de conceitos, aspectos e teorias físicas.

Pensar nos vínculos entre meio ambiente e a Física pode não ser tão perceptível ou notável não apenas para os alunos, mas para qualquer indivíduo. Cabe evidenciá-los: ao abordar sobre aquecimento global e efeito estufa, por exemplo, é comum notar questões como variação de temperatura, pressão, volume, quantidade de matéria, que são estudadas no componente curricular de Física. Tratar sobre o ciclo hidrológico é falar sobre questões termodinâmicas, tratar sobre questões relativas ao Sol é abordar questões como a luminosidade, luz, irradiação, calor, e todas essas grandezas são grandezas físicas e podem ser mensuradas de acordo com o conhecimento estudado inicialmente na Física.

A Política Nacional de Meio Ambiente, Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, traz à tona o aspecto físico do meio ambiente, definindo-o como: “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (BRASIL, 1981).

Atualmente, relações interdisciplinares são comumente tratadas em nosso cotidiano. Diante disso, utilizo-me do tema meio ambiente para exemplificar e tornar questões do cotidiano ambiental do aluno, relacionáveis

com o conteúdo que o mesmo deve aprender. O objetivo é de que o aluno assimile de forma não arbitrária a nova informação e consiga relacioná-la com algo que já possuía conhecimento.

É imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam, ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade. Esse deve ser o ponto de partida e, de certa forma, também o ponto de chegada. Ou seja, feitas as investigações, abstrações e generalizações potencializadas pelo saber da Física, em sua dimensão conceitual, o conhecimento volta-se novamente para os fenômenos significativos ou objetos tecnológicos de interesse, agora com um novo olhar, como o exercício de utilização do novo saber adquirido, em sua dimensão aplicada ou tecnológica. O saber assim adquirido reveste-se de uma universalidade maior que o âmbito dos problemas tratados, de tal forma que passa a ser instrumento para outras e diferentes investigações. Essas duas dimensões, conceitual/universal e local/aplicada, de certa forma constituem-se em um ciclo dinâmico, na medida em que novos saberes levam a novas compreensões do mundo e à colocação de novos problemas. Portanto, o conhecimento da Física “em si mesmo” não basta como objetivo, mas deve ser entendido sobretudo como um meio, um instrumento para a compreensão do mundo, podendo ser prático, mas permitindo ultrapassar o interesse imediato (BRASIL, 2002, p.23).

1.4 O presente trabalho e as pretensões do MNPEF

De acordo com o regimento do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, o mesmo “objetiva a melhoria da qualificação profissional de professores de Física [...] visando tanto o desempenho do professor em sala de aula como no desenvolvimento de técnicas e produtos de aprendizagem de Física” (SBF, 2014).

Lima (2007) expõe que García (1999) aborda aspectos referentes à formação de Professores que, aparentemente, alinham-se ao objetivo de melhoria na qualificação dos Professores de Física do MNPEF, como segue:

A formação de professores remete-nos a um processo de desenvolvimento de dimensões pessoais e profissionais, estimulado pela associação da maturação interna com as experiências de aprendizagem. A formação, então, inclui um inevitável componente pessoal, mas não exclui as influências externas, posto que não se realiza, unicamente, de forma autônoma e espontânea, e que se situa para além da competência profissional. Ou seja, a formação de professores

visa contribuir para que os docentes se formem como pessoas, percebem a sua responsabilidade no desenvolvimento da escola e adquiram uma atitude ativa e reflexiva sobre o ensino que oferecem (GARCÍA, 1999 *apud* LIMA, 2007, p.39).

Pelo fato do mestrando não possuir a licenciatura como formação, o primeiro contato obtido com teorias de ensino e aprendizagem foi no decorrer do curso de mestrado. Foi possível notar que é de suma importância saber que o processo de aprendizagem é diferente para cada aluno. Uma abordagem qualitativa sobre questões do ensino possibilitou a noção de que existem métodos de ensino que lustram o Professor e melhoram seu desempenho na sala de aula, fato este que gera melhores condições de aprendizagem do aluno.

A utilização de teorias de ensino e aprendizagem para elaboração de aulas e suas aplicações apresenta-se como um método eficiente capaz de aumentar a compreensão do novo conteúdo por alguns alunos que se mostraram, aparentemente, satisfeitos por conseguirem assimilar nova informação de forma não arbitrária.

1.5 O ensino da Física no ensino médio nos dias de hoje

Antes de ser Professor, todos são alunos. Diante dessa percepção, é interessante trocar de lugar com o aluno e, durante a elaboração de uma aula, “ver com outros olhos” como é possível facilitar o entendimento de um certo conteúdo.

Contextualizar a realidade previamente à abordagem de um assunto, como já afirmado anteriormente, torna o conteúdo mais claro e assimilável. Dessa forma, o presente trabalho também trata sobre o estado da arte da Física no ensino médio. Quais os objetivos que a disciplina possui? Afinal, qual a intenção de lecionar Física no ensino médio?

De acordo com Nussenzveig (2002, p.2), “a física é em muitos sentidos a mais fundamental das ciências naturais, e é também aquela cuja formulação atingiu o maior grau de refinamento”.

Nos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN, a Física é apresentada como “um conhecimento que permite elaborar modelos de evolução cósmica, investigar os mistérios do mundo submicroscópico, das partículas que

compõem a matéria, ao mesmo tempo que permite desenvolver novas fontes de energia e criar novos materiais, produtos e tecnologias” (BRASIL, 2002, p.22). Ainda no PCN é exposto que:

A Física tem uma maneira própria de lidar com o mundo, que se expressa não só através da forma como representa, descreve e escreve o real, mas sobretudo na busca de regularidades, na conceituação e quantificação das grandezas, na investigação dos fenômenos, no tipo de síntese que promove. Aprender essa maneira de lidar com o mundo envolve competências e habilidades específicas relacionadas à compreensão e investigação em Física (BRASIL, 2002, p.24).

Para a Sociedade Brasileira de Física – SBF, a Física é “um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos” (SBF, 2015).

Ainda segundo os PCN:

Lidar com o arsenal de informações atualmente disponíveis depende de habilidades para obter, sistematizar, produzir e mesmo difundir informações, aprendendo a acompanhar o ritmo de transformação do mundo em que vivemos. Isso inclui ser um leitor crítico e atento das notícias científicas divulgadas de diferentes formas: vídeos, programas de televisão, *sites* da Internet ou notícias de jornais (BRASIL, 2002, p.27).

Assim, o aprendizado de Física deve estimular os jovens a acompanhar as notícias científicas, orientando-os para a identificação sobre o assunto que está sendo tratado e promovendo meios para a interpretação de seus significados. Notícias como uma missão espacial, uma possível colisão de um asteroide com a Terra, um novo método para extrair água do subsolo, uma nova técnica de diagnóstico médico envolvendo princípios físicos, o desenvolvimento da comunicação via satélite, a telefonia celular, são alguns exemplos de informações presentes nos jornais e programas de televisão que deveriam também ser tratados em sala de aula (BRASIL, 2002, p.27).

Ciência exata, de caráter estruturado e que se utiliza da matemática como ferramenta para sistematizá-la, a Física concebe competência para lidar com a realidade. É capaz de desenvolver a capacidade de abstração através de esquemas de relações entre diferentes conceitos, propriedades ou

processos físicos, através de uma linguagem própria. Entretanto, atualmente, conforme segue afirmação também contida nos parâmetros curriculares nacionais:

O ensino de Física tem-se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo. (BRASIL, 2002, p.22).

Já Carvalho (1985) afirma que o ensino de Física no ensino médio e até mesmo na universidade gira em torno da dedução de equações e suas aplicações em exercícios ou problemas padrão, fato este que dá aos conceitos envolvidos uma consideração pouco aprofundada por parte dos Professores. Dessa forma, o autor expõe que é muito comum encontrar alunos capazes de resolver problemas de mecânica utilizando, por exemplo, a relação $F = m \cdot a$, e que em outras situações, manifestem um conhecimento acerca do conceito de força incompatível com essa relação.

Carvalho (1985) ainda evidencia que existe, entre Professores de Física, a ideia muito comum de que alguns alunos, ao iniciarem seus estudos de Física, não sabem nada dessa matéria, e que os erros que eles cometem são decorrentes de falhas individuais e/ou de pouca habilidade com a Matemática.

Com relação ao rendimento escolar, autoras como Reis e Steffani (2014, p.3) expõem que “física é uma das disciplinas que mais reprova e a qual os estudantes geralmente consideram complicada, cheia de decorebas e distante da realidade”.

1.6 Justificativa embasada em expectativas

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação (BRASIL, 2002, p.22).

A expectativa do ensino concretizado possui regulamentação legal. O método a ser utilizado para propiciar aprendizagem durante o processo de ensino não. Diante da dualidade entre expectativas e realidade, o presente trabalho justifica-se por propor um produto educacional que contribua com a aprendizagem significativa do tema da aceleração gravitacional.

Seguem abaixo outras metas que devem ser alcançadas por meio do ensino da física:

Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos. Compreender manuais de instalação e utilização de aparelhos. Observar, estimar ordens de grandeza, compreender o conceito de medir, fazer hipóteses, testar. Conhecer e utilizar conceitos físicos. Relacionar grandezas, quantificar, identificar parâmetros relevantes. Compreender e utilizar leis e teorias físicas (BRASIL, 2002, p.29).

1.7 Definição do tema e da metodologia a seguir

Após a definição do orientador, Professor Breno Ferraz de Oliveira, sugeriu um tema completamente diferente do que se havia planejado anteriormente: tratar sobre a aceleração gravitacional de forma que fosse produzido um produto educacional contendo, além de teoria e roteiro para o experimento do pêndulo simples, resultados obtidos através do experimento realizado com alunos.

Após acordo entre mestrando e orientador, com o tempo, o trabalho foi ganhando corpo por termos entendido que seria preciso fundamentá-lo, embasado em alguma teoria de ensino-aprendizagem, tendo optado pela cognitivista ausubeliana. Observamos ainda a importância de relatar aspectos históricos do desenvolvimento do conceito da aceleração gravitacional.

Prévia e posteriormente ao experimento, foram aplicados questionários com intuito de registrar concepções usualmente corretas e erradas do tema

pelos alunos, relatá-las, assim como constatar possíveis aspectos relevantes sobre o grau de entendimento que os alunos possuem de conceitos e grandezas físicas que se relacionam com a aceleração gravitacional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tendo em vista que o produto educacional gerado é uma proposta de “curso” sobre a aceleração gravitacional que viabilize condições que, no mínimo, favoreçam a formação de organizadores prévios ou mesmo viabilize a aprendizagem significativa sobre conceitos relacionados ao tema, o presente trabalho fundamenta-se teoricamente em explanação de conceitos importantes da teoria ausubeliana bem como conceitos físicos sobre a aceleração da gravidade.

2.1 A teoria ausubeliana

David Paul Ausubel (1918 – 2008) foi um renomado psicólogo da educação estadunidense que desenvolveu a teoria cognitiva intitulada como teoria da aprendizagem significativa.

As correntes cognitivistas possuem enfoque na cognição, no ato de conhecer, isto é, como o indivíduo entende o mundo que o cerca. Os processos mentais, ou o pensar, do ser é analisado sob ótica científica.

É possível que ao começar a entender as diferenças entre as correntes comportamentalistas e cognitivistas, fique-se tendencioso à aceitação da concepção de que a mente é, ou apenas possui, um sistema estruturado capaz de armazenar informações e relacioná-las hierarquicamente.

Em síntese, a teoria ausubeliana propõe uma forma de aprendizagem que ocorra em certa “estrutura cognitiva”, como um processo hierárquico de armazenamento de informações que, ao ligarem-se ao âmbito mental do indivíduo, possam ser manipuladas e utilizadas adequadamente no futuro, através da organização e integração dos conteúdos aprendidos significativamente.

2.1.1 A aprendizagem significativa

A teoria cognitiva de Ausubel possui como conceito central a aprendizagem significativa. Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1978), a aprendizagem significativa está relacionada à aquisição de novas

interpretações e estas, por sua vez, são produtos deste tipo de aprendizagem, isto é, a emergência de novos significados no aluno reflete a complementação de um processo de aprendizagem significativa.

Moreira (2014), em uma obra na qual compila informações sobre diversas teorias de ensino e aprendizagem, traz definições e aspectos relevantes da teoria ausubeliana como:

A aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura do conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica a qual Ausubel define como *conceito subsunçor*, ou simplesmente *subsunçor* (MOREIRA, 2014, p.161).

Ainda Moreira (2014) expõe que a teoria de Ausubel é uma teoria de Aprendizagem verbal significativa receptiva:

Verbal, pois considera a linguagem como importante facilitador da aprendizagem e receptiva, porque (embora sem negar o valor da descoberta) Ausubel argumenta que a aprendizagem por recepção é o mecanismo humano por excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de ideias e informações de qualquer campo do conhecimento (MOREIRA, 2014, p.171).

Entretanto, uma década antes, Moreira e Masini (2001) evidenciavam condições para a ocorrência da aprendizagem significativa, pressupondo que:

- O material a ser aprendido seja potencialmente significativo para o aprendiz, ou seja, relacionável a sua estrutura de conhecimento de forma não arbitrária e não literal (substantiva);
- O aprendiz manifeste uma disposição de relacionar o novo material de maneira substantiva e não arbitrária a sua estrutura cognitiva.

2.1.2 Subsunçores, conhecimento prévio e ancoragem

O conhecimento prévio que o aluno possui deve ser explorado pelo Professor com fins em viabilizar a assimilação do novo conceito. O novo conceito assimilado é uma “versão melhorada” do conceito que serviu como

âncora na estrutura cognitiva do aluno. Tal estrutura cognitiva deve ser acessada para que a mesma se desenvolva e adquira abrangência.

Moreira (2014) expõe que os subsunçores existentes na estrutura cognitiva podem ser abrangentes e bem desenvolvidos ou limitados e pouco desenvolvidos, dependendo da frequência com que ocorre a aprendizagem significativa em conjunção com um dado subsunçor.

Cordeiro (2003) evidencia que Moreira (1999) entende que, numa tentativa de traduzir o termo "subsumer", criou-se o termo "subsunçor". Entende também que é o conjunto de subsunçores que forma a estrutura cognitiva.

Moreira e Masini (2001), em obra que os autores explicitam características relevantes da teoria cognitiva de Ausubel, expõem, por exemplo, que:

Cognição é o processo através do qual o mundo de significados tem origem. À medida que o ser se situa no mundo, estabelece relações de significação, isto é, atribui significados à realidade em que se encontra. Esses significados não são entidades estáticas, mas pontos de partida para a atribuição de outros significados. Tem origem, então, a estrutura cognitiva (os primeiros significados), constituindo-se nos "pontos básicos de ancoragem" dos quais derivam outros significados. (MOREIRA e MASINI, 2001, p.13).

Ressalta-se que a SBF acredita que:

Para que todo o processo de conhecimento possa fazer sentido para os jovens, é imprescindível que ele seja instaurado através de um diálogo constante, entre o conhecimento, os alunos e os professores. E isso somente será possível se estiverem sendo considerados objetos, coisas e fenômenos que façam parte do universo vivencial do aluno, seja próximo, como carros, lâmpadas ou televisões, seja parte de seu imaginário, como viagens espaciais, naves, estrelas ou o Universo. Assim, devem ser contempladas sempre estratégias que contribuam para esse diálogo (SBF, 2015).

Tais "objetos, coisas e fenômenos que façam parte do universo vivencial do aluno" citados anteriormente serviriam como âncoras capazes de relacionar novas informações com a "bagagem" do aluno. Um exemplo clássico em Física, por exemplo, é a possível relação que o aluno pode perceber entre as forças e campos gravitacional, nuclear e/ou eletromagnético.

Esse processo de “ancoragem” das relações devido ao conhecimento prévio do conceito de força e campo gravitacional ocorre na estrutura cognitiva, tal estrutura é tida por Ausubel como “hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo” (Moreira, 2014, p.161).

2.1.3 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa

Detalhes e especificidades de um conceito devem ser tratados progressivamente, de forma que os elementos mais gerais sejam apresentados primeiramente. Do ponto de vista ausubeliano, o desenvolvimento de conceitos é facilitado. Este é o princípio da “diferenciação progressiva” que Moreira e Masini (2001) citam:

Do ponto de vista ausubeliano, o desenvolvimento de conceitos é facilitado quando os elementos mais gerais, mais inclusivos de um conceito são introduzidos em primeiro lugar, e posteriormente, então, esse conceito é progressivamente diferenciado em termos de detalhe e especificidade, Segundo Ausubel, o princípio da “diferenciação progressiva” deve ser levado em conta ao programar o conteúdo, ou seja, as ideias mais gerais e mais inclusivas da disciplina devem ser apresentadas no início para, somente então, serem progressivamente diferenciadas (MOREIRA e MASINI, 2001, p.29).

Além da diferenciação progressiva, outro princípio programático da teoria ausubeliana é o da reconciliação integrativa que, segundo Moreira (2014, p.169) é o princípio contrário e de recombinação “segundo o qual a instrução deve também explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças importantes e reconciliar discrepâncias reais ou aparentes”.

Ainda Moreira (2014, p.169) afirma que “segundo Ausubel, esses dois princípios programáticos podem, na prática, ser implementados pelo uso de organizadores prévios adequados”.

Já Moreira e Buchweitz (1993) evidenciam que outro método capaz de promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa é através da utilização de mapas conceituais.

2.1.4 Mapas conceituais

A montagem de organogramas que estruturam e mostrem relações entre conceitos de forma lógica pode ser uma tentativa válida de realizar a diferenciação progressiva ou a reconciliação integrativa. Tais organogramas são o que a teoria ausubeliana intitula como mapas conceituais conforme Moreira e Masini (2001) explicam:

Mapas conceituais podem ser traçados para toda uma disciplina, para uma subdisciplina, para um tópico específico de uma disciplina e assim por diante. Existem várias maneiras de traçar um mapa conceitual, isto é, existem diferentes modos de mostrar uma hierarquia conceitual num diagrama. Além disso, mapas conceituais traçados por diferentes especialistas numa mesma área provavelmente refletirão pequenas diferenças em entendimento e interpretação das relações entre os conceitos-chave dessa área. O ponto importante é que um mapa conceitual deve ser sempre visto como “*um* mapa conceitual” e não como “o mapa conceitual” de um dado conjunto de conceitos. Ou seja, qualquer mapa conceitual pode ser visto como apenas uma das possíveis representações de uma certa estrutura conceitual (MOREIRA e MASINI, 2001, p.52).

Pode-se, então, definir certas diretrizes para traçar mapas conceituais como a regra das figuras, mencionada antes, ou a da organização hierárquica piramidal, mas são diretrizes contextuais, ou seja, válidas, por exemplo, para uma pesquisa ou para uma determinada situação de sala de aula. Não há regras gerais fixas para o traçado de mapas de conceitos. O importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar significados atribuídos a conceitos e relações entre conceitos no contexto de um corpo de conhecimentos, de uma disciplina, de uma matéria de ensino. Por exemplo, se o indivíduo que faz um mapa, seja ele, digamos, professor ou aluno, une dois conceitos, através de uma linha, ele deve ser capaz de explicar o significado da relação que vê entre esses conceitos (MOREIRA, 2012, p.02).

Moreira, Cavallero e Rodriguez (1997) embasados em constatações de Moreira e Buchweitz (1993) expõem que a estratégia do mapeamento conceitual foi desenvolvida por Novak e colaboradores, na Universidade de Cornell, desde o ano de 1972. Tal estratégia é uma técnica que, como sugere o próprio nome, valoriza conceitos e relações entre conceitos à luz dos princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

“Os mapas conceituais podem ser usados como recurso didático, de avaliação e de análise de currículo” (MOREIRA, CAVALLERO e RODRIGUEZ,1997, p.20).

Segundo Moreira (2012, p.06) “mapas conceituais foram desenvolvidos para promover a aprendizagem significativa”. Com o intuito de esclarecer como mapas conceituais podem evidenciar relações entre grandezas e facilitar a aprendizagem significativa, seguem alguns exemplos:

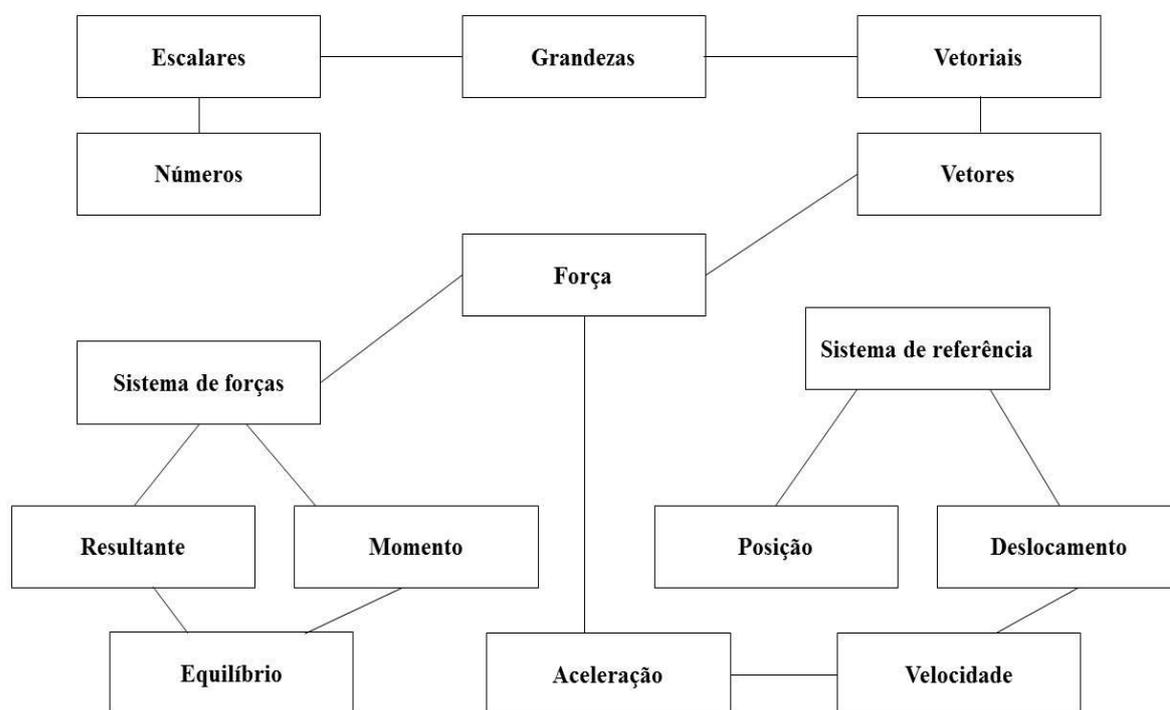


Figura 1 – Mapa conceitual envolvendo o conceito de força (Adaptado de GANGOSO, 1997)

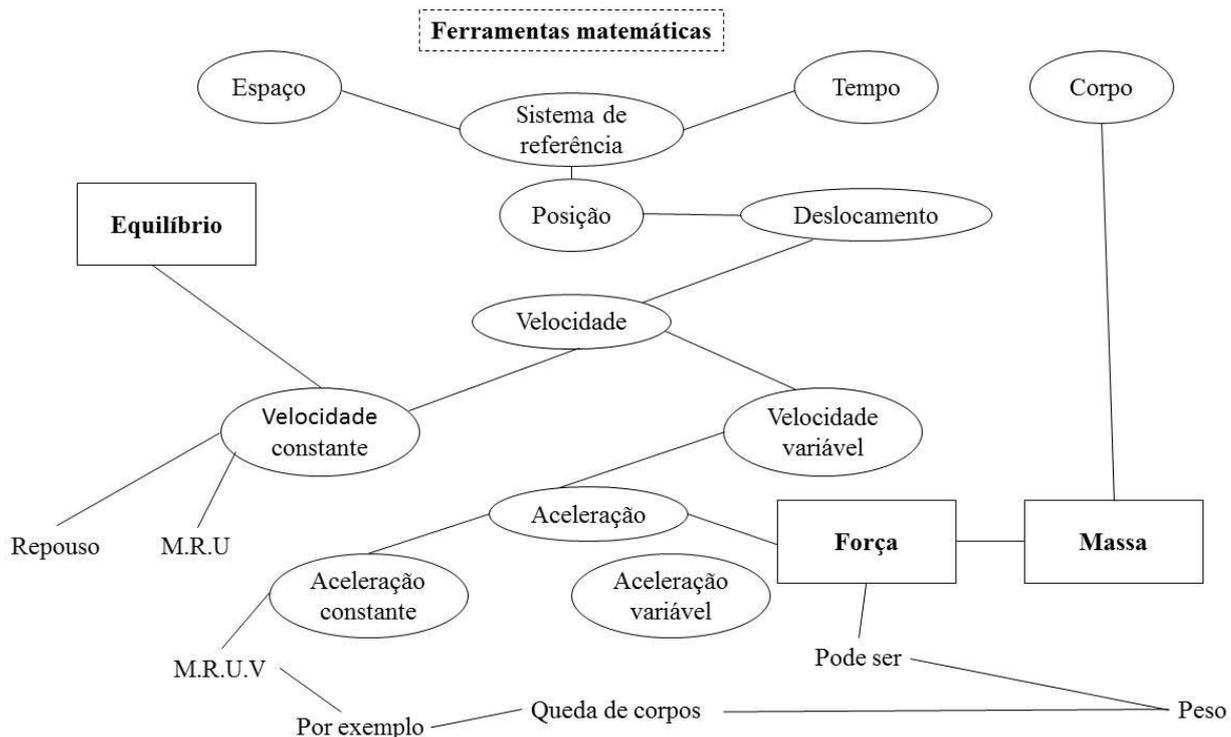


Figura 2 – Mapa conceitual relaciona grandezas e conceitos físicos (Adaptado de GANGOSO, 1997)

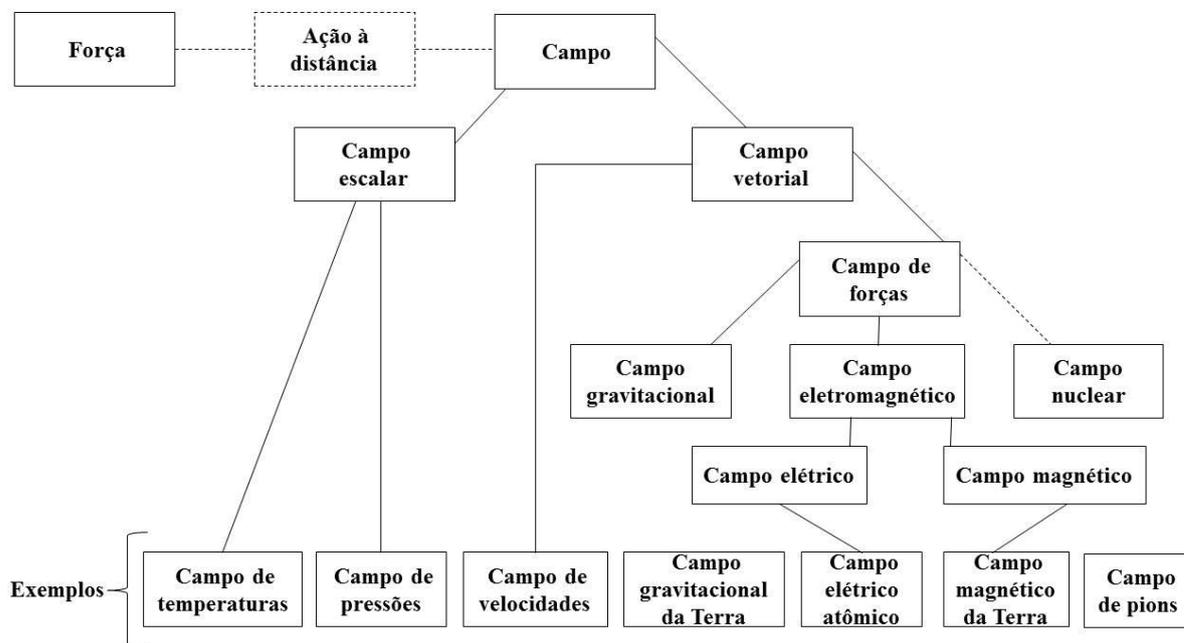


Figura 3 – Mapa conceitual que aborda sobre o conceito de campo (Adaptado de MOREIRA e MASINI, 2001)

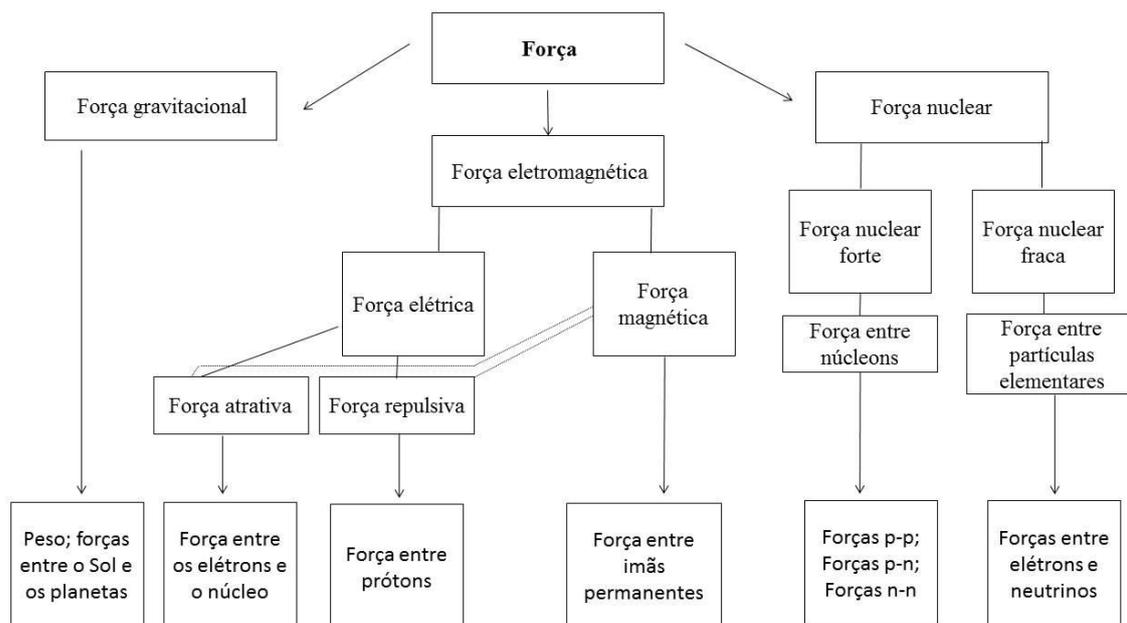


Figura 4 – Mapa conceitual que expressa relações entre tipos de forças (Adaptado de MOREIRA e MASINI, 2001)

A utilização de mapas conceituais visa a permitir que o aluno consiga entender relações entre grandezas como campo, aceleração e força gravitacional. Segue exemplo formulado neste trabalho que possui enfoque no tema abordado.

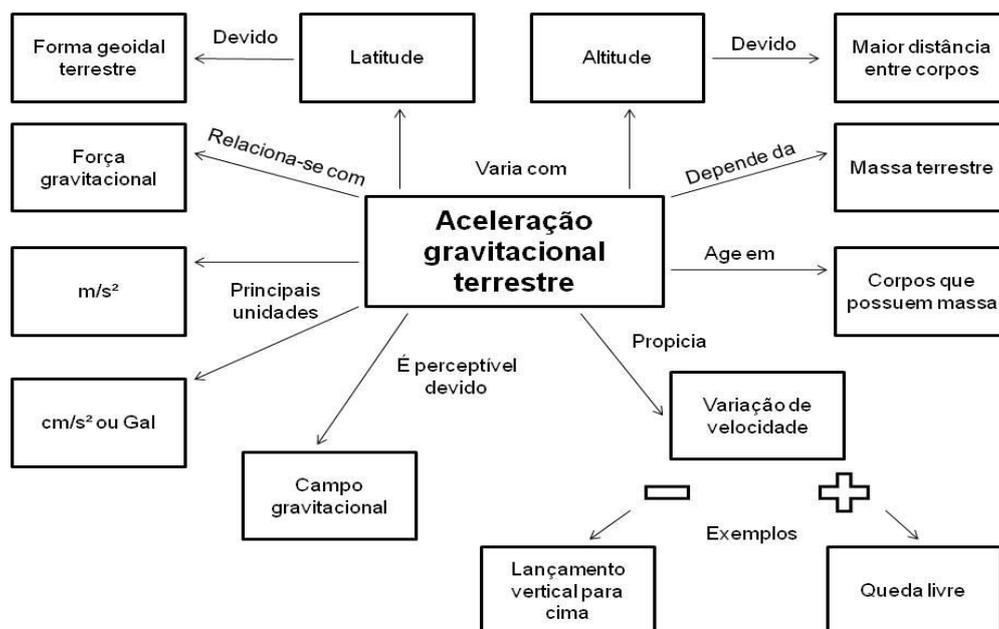


Figura 5 – Relações entre grandezas relativas à aceleração gravitacional (Autor, 2016)

2.2 A Física da aceleração gravitacional

Com o intuito de esclarecer questões acerca da temática abordada no presente trabalho, a seguir serão expostas questões históricas e físicas sobre o movimento dos corpos.

2.2.1 Aspectos históricos dos movimentos dos corpos

A concepção histórica não apenas do tema em questão, mas de toda a ciência, representa, segundo Resquetti e Neves (2011), papel fundamental para a compreensão conceitual da ciência moderna, ao fornecer informações a respeito do *status* dos conceitos e teorias científicas desenvolvidos em vários momentos da história. Conhecendo as dificuldades encontradas pelos homens da ciência para elaborar a teoria do movimento dos corpos, podemos compreender as dificuldades que ainda hoje encontramos no ensino-aprendizagem desse tema. Desta forma, é essencial destacar aspectos importantes dos estudos realizados acerca dos movimentos desde a antiguidade com Aristóteles, passando pelo Renascimento com Leonardo da Vinci e Galileu até chegar em Newton, no século XVII.

2.2.1.1 A antiguidade

Partindo da antiguidade, Cherman e Mendonça (2010) afirmam que Aristóteles de Estagira (384 a.C – 322 a.C) pode ser considerado um dos pilares da história da gravidade, pois apesar de seu trabalho não representar a realidade atual, o conhecimento nele difundido perdurou por muitos séculos após a sua morte.

Cohen (1988) citado por Resquetti e Neves (2011, p.22) afirma que “a física aristotélica é denominada, frequentemente, como a ‘Física do senso comum’”. Aristóteles, sem a aplicação de medidas e interpretações matemáticas, construiu um modelo de mundo analisando naturalmente o que se passava em seu cotidiano.

Ainda Resquetti e Neves (2011) expõem que na visão aristotélica, em todo movimento, há dois fatores principais: a força motriz (F) e a força de

resistência (R). Sendo que somente ocorre movimento quando a força motriz é maior que a de resistência, ou seja:

$$F > R. \quad (2.1)$$

Ao utilizar meios diferentes como ar, água, álcool, óleo, entre outros, é possível observar que a velocidade de queda de um corpo de massa m a uma mesma altura, nos diferentes meios, não é a mesma. Quanto maior a resistência, menor a velocidade, ou seja, a velocidade do corpo é inversamente proporcional à resistência:

$$v \propto 1/R. \quad (2.2)$$

Em um mesmo local, ao utilizar outro corpo de massa maior M , a força peso atuante sobre ele é maior que a força peso atuante no corpo de massa m . E, ao realizar o experimento anterior, é possível observar que quanto maior a força atuante no corpo, maior a velocidade com que o corpo termina seu movimento, ou seja:

$$v \propto F. \quad (2.3)$$

Combinadas as duas equações anteriores temos:

$$v \propto F/R, \quad (2.4)$$

ou seja, a velocidade de um corpo é proporcional à força motriz e inversamente proporcional à resistência do meio.

Os mesmos autores Resquetti e Neves (2011) evidenciam que a expressão anterior é conhecida como a lei aristotélica do movimento, mesmo que Aristóteles não tenha escrito suas conclusões na forma de expressões matemáticas, a referida expressão traduz o pensamento do mesmo sobre o movimento.

Analisando as expressões matemáticas apresentadas e seus significados, segundo Aristóteles, para haver movimento, a força motriz deve ser maior do que a de resistência ($F > R$). Segundo o pensamento aristotélico, se a força motriz é igual à força de resistência ($F = R$), não há movimento, ou seja, a velocidade é nula. Entretanto, a expressão que relaciona a velocidade, força motriz e força de resistência (2.4) evidencia que se as forças são iguais, o valor da velocidade será diferente de zero, ou seja, há movimento sim. O

mesmo acontece para quando a força de resistência é maior que a força motriz ($F < R$), visto que a razão entre as duas referidas forças não será zero.

Embasados nessa explanação, Resquetti e Neves (2011) afirmam que a lei aristotélica não é uma afirmação universal das condições do movimento.

Neves (2005) evidencia que a dinâmica aristotélica mostra a impossibilidade do movimento no vácuo, pois não haveria resistência do meio e, neste caso, a velocidade de deslocamento do corpo que possui uma força atuante sobre si seria infinita.

É interessante ressaltar que, como afirmam Dias *et alli* (2004), para Aristóteles, o universo não apresentava espaços vazios, pois o pensador acreditava que o que seria possível de existir, seria a matéria, e a ideia de vácuo seria a aceitação de que algo é composto de nada.

Ainda Dias *et alli* (2004) enfatizam a visão aristotélica sobre a questão:

Como a resistência no espaço vazio é zero, a velocidade de qualquer corpo no vácuo seria infinita e um corpo cairia instantaneamente, em contradição com o fato de que corpos mais pesados caem mais rapidamente. A fórmula parece levar a um absurdo, a menos que se negue a existência do vácuo, em cujo caso o raciocínio não se aplicaria (DIAS *et alli*, 2004, p.259).

“Assim, esta afirmação da inexistência do vazio ganhou *status* de princípio chamado de "horror do vácuo": a Natureza sempre agia no sentido de evitar a formação de vácuo” (PORTO, 2009, p.4).

Aparentemente, a concepção aristotélica parece explicar razoavelmente alguns acontecimentos do cotidiano, e por isso ainda perdura nos dias de hoje, fora da academia, de forma semelhante ao senso comum no que se diz respeito ao movimento. Atualmente, segundo Resquetti e Neves (2011), alguém sem conhecimento científico é guiado normalmente pela intuição e essa concepção pouco crítica é resultado da tradição de uma determinada época, local ou grupo social.

É comum, ainda hoje, encontrarmos pessoas que apresentam noções a respeito do movimento semelhantes às concepções propostas por Aristóteles. São incapazes de explicar fenômenos físicos que ocorrem no dia a dia segundo uma descrição galileano-newtoniana. “Em particular, esse mal entendido da Física tende a centralizar-se no problema da

queda dos corpos, no conceito geral do movimento” (COHEN, 1988 *apud* RESQUETTI e NEVES, 2011, p.28).

Apesar de ter sido considerada como válida por muito tempo, a Física aristotélica do movimento dos corpos sofreu objeções que acabaram moldando tal teoria através dos trabalhos e estudos de críticos e seguidores de Aristóteles, tanto ainda na antiguidade como também no período medieval.

Ainda Resquetti e Neves (2011) afirmam que a teoria do *impetus*, introduzida por Hiparco (190 a.C – 120 a.C) e reinventada por Johannes Philoponus (490 – 570), ambos críticos de Aristóteles, bem como discussões e traduções de manuscritos gregos acerca da natureza dos movimentos, realizadas entre os séculos X e XII por filósofos islâmicos, mantiveram a chama acesa da questão sobre o movimento de corpos.

Com relação às referidas traduções ocorridas devido à expansão do império muçulmano através da Europa até a Península Ibérica, o mundo ocidental passou a ter acesso às discussões sobre o tema, fato este que acabou influenciando na criação de universidades como afirma Zylberstajn *apud* Resquetti e Neves (2011):

O estudo desses textos, segundo Zylberstajn, deu origem à tradição escolástica com análise argumentativa, como também levou à criação das primeiras universidades europeias, destacando-se a de Bolonha, a de Oxford e a de Paris. No século XIV, no *Merton College*, em Oxford, desenvolveram-se com bastante clareza os conceitos de movimento uniforme e uniformemente acelerado. Estabeleceu-se, ainda, a “Regra do Valor Médio”, a qual equipara a distância percorrida por um corpo que se desloca com aceleração constante à distância percorrida em movimento uniforme, cuja velocidade é igual à média entre as velocidades inicial e final do movimento acelerado. O autor ainda sustenta que Galileu Galilei usou essa regra ao analisar a queda dos corpos e comenta que hoje há poucas dúvidas de que a teoria do *impetus* tenha influenciado Galileu, no início da sua carreira (ZYLBERSTAJN, 2006 *apud* RESQUETTI e NEVES, 2011, p.30).

2.2.1.2 O período medieval

Com o início de uma nova era durante a segunda metade do século XV, o Renascimento, surge um novo mundo, um mundo onde não havia fronteiras entre arte e ciência, um mundo onde a ciência e a tecnologia encontravam-se

em pleno desenvolvimento e, conseqüentemente, artistas e cientistas são estimulados por tal desenvolvimento decorrido nessa nova era, nesse novo mundo que passava por rápidas transformações.

Koyré (1982) afirma que, ao lado de Michelangelo (1475 – 1564), Leonardo da Vinci (1452 – 1519) foi um dos maiores nomes da Renascença e que o próprio vivenciou não somente a teoria pura, mas também a *práxis*.

Da Vinci, como ainda era comum naquele tempo, foi bastante influenciado pela física aristotélica em seus argumentos. Mas também vislumbrou novas possibilidades em relação à questão do movimento dos corpos. Ele defendia que o calor e o frio causariam o movimento dos elementos, e como acreditava que todo calor do Universo era produzido pelo Sol, tal movimento seria, portanto, derivado deste astro. Mas Da Vinci não descartou o peso e a leveza. De fato, ele afirmou que ambos seriam produzidos assim que os elementos iniciassem seu movimento (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p.70-71).

Dessa ideia bastante estranha vem a definição de gravidade proposta por Da Vinci. Para ele, “a gravidade é poder acidental, criado por movimento e infundido nos corpos que sobressaem de sua posição natural”. O mais curioso, porém, é a relação construída pelo pensador entre peso e gravidade com o que ele chama de “força” (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p.71).

Resquetti e Neves (2011) evidenciam que Leonardo não compartilhou os estudos que desenvolveu com seus contemporâneos e, por isso, as questões científicas por ele trabalhadas permaneceram inéditas.

Ainda na Renascença, surge um pensador que serviria de marco na história da ciência: Galileu Galilei (1564 – 1642). Nascido na cidade de Pisa, na Itália, mesmo tendo iniciado estudos na Faculdade de Medicina de Pisa, Galileu foi atraído pelas linhas euclidiana e arquimediana de estudo e acaba abandonando a faculdade para iniciar suas primeiras investigações científicas na área da matemática no ano de 1585, como evidenciam Resquetti e Neves (2011).

Em 1592, com a segunda nomeação para a cátedra de Matemática em Pisa, começa o trabalho científico profissional de Galileu. De 1592 a 1610, ele desenvolve estudos ligados à criação de uma ciência geométrica do movimento. Entre 1610 e 1633, pelas observações obtidas pelo uso do telescópio, trava uma dura batalha em defesa da teoria heliocêntrica do universo. A partir de 1633, confinado em prisão domiciliar,

retoma os trabalhos sobre os movimentos e compõe os *Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências*, morrendo em 1642 (RESQUETTI e NEVES, 2011, p.39).

Resquetti e Neves (2011) afirmam também que a obra *Dois novas ciências* é a última e a mais importante obra de Galileu, nela Galileu cita uma série de experimentos, de forma dialógica entre três personagens, para apresentar os principais pontos de discordância entre suas conclusões e a Física aristotélica tradicional, apontando graves objeções à velha teoria, uma delas seria a recusa de Aristóteles sobre a existência do vácuo.

Por meio de diversos experimentos, Galileu conseguiu demonstrar que a velocidade que um corpo adquire ao cair não depende da sua massa. O caso da queda de corpos de massas diferentes serviu como exemplo citado por Resquetti e Neves (2011) como segue:

Supõe a queda de dois objetos com pesos diferentes. O mais pesado, por exemplo, o corpo A, de acordo com Aristóteles, é mais veloz do que o corpo B, mais leve. Galileu propõe unir os dois corpos. Nesse caso, segundo a lógica aristotélica, o mais lento retardaria o mais rápido e, este último aumentaria a velocidade do mais lento. Então, a velocidade resultante do conjunto deveria ter um valor intermediário, menor do que a velocidade de A e maior do que a velocidade de B. Contudo, Galileu argumenta que o conjunto obtido da união dos dois corpos forma um corpo maior, mais pesado, e, segundo a velha Física, deveria se mover mais velozmente, uma vez que o corpo de maior peso atinge maior velocidade. Está estabelecida uma inconsistência lógica (RESQUETTI e NEVES, 2011, p.44).

Cherman e Mendonça (2010) afirmam que há muitas lendas associadas ao nome de Galileu. Em uma delas, ele teria descoberto o que hoje se conhece como isocronismo dos pêndulos, observando a oscilação dos lustres no interior da Catedral de Pisa. Segundo relatam, Galileu aferiu o período das oscilações daquele pêndulo por meio de sua pulsação, e com isso teria concluído que mesmo quando a amplitude diminuía, os intervalos de tempo das oscilações permaneciam iguais.

Outra história comumente contada dessa época é que ele teria feito experiências com corpos em queda do alto da Torre de Pisa, a fim de averiguar o comportamento desses corpos ao atingir o solo. Os mesmos Cherman e

Mendonça (2010) citam que diversos autores creditam a adição dessa passagem à biografia de Galileu a seu aluno Vincenzo Viviani.

No início do século XVII, [Galileu] passou a se dedicar intensamente ao estudo do movimento dos corpos. Em 1602, Galileu trocou algumas cartas cujos conteúdos traziam informações sobre um potencial objeto de estudo: o pêndulo. Se a história da Catedral de Pisa é real ou não, já não importa mais, pois nessa época ele incontestavelmente analisou o movimento pendular como nenhum outro havia feito antes dele. E é provável que desse estudo tenha surgido a ideia de voltar suas atenções para o movimento dos corpos em queda livre, visto que os pêndulos apresentavam uma peculiaridade que poderia mostrar uma falha na física aristotélica: seu movimento independe da massa (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p.96).

Contemporâneo de Galileu, Johannes Kepler (1571 – 1630) foi mais um importante pensador que desenvolveu estudos e observações sobre o movimento dos corpos, no caso, corpos celestiais.

Embasado na teoria copernicana do heliocentrismo, Kepler desenvolveu as leis dos movimentos planetários e por conta de sua defesa ardorosa a teoria heliocêntrica de Copérnico, o mesmo foi perseguido pela igreja católica e teve sua obra *Sobre as revoluções dos orbes celestes* incluída na relação de livros proibidos daquela instituição religiosa.

Independentemente da proibição, Kepler continuou sua busca pela harmonia celeste iniciada no *Mistério cosmográfico* e completamente associada à obra copernicana e às doutrinas de Pitágoras e Platão. Ele vislumbrava uma relação perfeita entre os fenômenos físicos e as formas geométricas, e em sua obra de 1619, a *Harmonia do mundo*, juntou todos os esforços a fim de demonstrá-la. É neste trabalho que Kepler fornece a terceira lei dos movimentos planetários, conhecida como “lei harmônica”, e que pode ser definida como “a razão entre o cubo da distância média dos planetas ao Sol, e o quadrado do período que estes planetas levam para completar uma revolução é constante”. Esta última lei de Kepler, que foi concebida segundo o próprio, em 8 de março de 1618, foi o pilar principal para a teoria da gravitação de Newton. Podemos considerar que a harmonia almejada por Kepler serviu de esboço para que Newton desse cabo de um problema que persistia por séculos (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p.103).

2.2.1.3 Sobre os ombros de gigantes

No século XVII a humanidade possuía conhecimentos sobre movimentos dos planetas e da lua, porém um entendimento quantificado das forças envolvidas não era atingível como afirmam Serway e Jewett Jr. (2014). Os mesmos autores citam que Isaac Newton (1643 – 1727) desvenda os céus partindo do princípio de que havia uma força resultante atuando sobre a lua, caso não houvesse, a lua se moveria em trajetória de linha reta e não em órbita quase circular.

As ideias organizadas e apresentadas por Isaac Newton, pai da Física moderna, em *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, considerado por Cherman e Mendonça (2010) como a obra mais importante de todos os tempos, publicada em 1687, deram origem à Lei da Gravitação Universal, pois seriam elas aplicadas a quaisquer corpos no Universo e, reza a lenda que o mesmo chegou a tais conclusões após a queda de uma maçã em sua cabeça.

O que se sabe com maior precisão é que, como constatam Cherman e Mendonça, Newton, aos 18 anos, foi admitido no prestigioso Trinity College, em Cambridge e que, na universidade, estudou o mundo aristotélico, mas também travou contato com as ideias revolucionárias surgidas no continente europeu.

Por conta da peste, Newton deixou para trás o Trinity College com um diploma debaixo do braço e nada que o distinguisse de seus colegas de turma. Mas a atenção dedicada às novidades pensadas por Copérnico, Kepler e Galileu não seria em vão, e assim que se viu livre para ter suas próprias ideias, Newton desabrochou como o grande gênio que era (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p.113).

Em seu exílio acadêmico, Newton criou um novo ramo da matemática (o cálculo infinitesimal, conhecido popularmente hoje como cálculo integral e diferencial), fez importantes descobertas no ramo da óptica (por exemplo, a decomposição da luz branca em diferentes cores) e da mecânica (suas três leis do movimento) e, sobretudo, começou a entender o mecanismo que mantinha os planetas em suas órbitas: a gravidade (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p.113).

Newton propôs que forças envolvidas em um sistema de atração não era algo especial a sistemas celestiais/planetários, mas casos particulares de uma atração geral e universal entre corpos detentores de massa. Diante da noção de que toda partícula no Universo atrai outra partícula com uma força que é

diretamente proporcional às massas das partículas envolvidas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as mesmas, a referida força, em módulo, pode ser expressa por:

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}, \quad (2.5)$$

sendo que G é a constante gravitacional universal e seu valor, no Sistema Internacional de Unidades – SI é $6,674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2\text{kg}^{-2}$, r é a distância entre as partículas de massas m_1 e m_2 .

Vale a pena ressaltar que, como evidenciam Cherman e Mendonça (2010), a equação apresentada anteriormente jamais foi escrita por Newton, entretanto, os mesmo autores expõem que na obra de Newton, o mesmo afirmou de forma literal que a gravidade existe em todos os corpos universalmente e é proporcional à quantidade de matéria em cada um deles, bem como a força gravitacional relacionada à aceleração gravitacional é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os dois corpos em questão.

Serway e Jewett Jr. (2014) evidenciam que Newton, ao publicar pela primeira vez sua teoria da gravitação, obteve rejeição de seus contemporâneos que achavam difícil aceitar o conceito de uma força que um corpo pode exercer sobre o outro sem nada estar acontecendo no espaço entre eles. A dúvida que pairava sobre suas cabeças era como ser possível que dois corpos com massa interagissem, mesmo que não estivessem em contato.

Apesar de não saber o porquê para sanar essa questão, sua teoria foi de grande valia, por explicar satisfatoriamente o movimento dos astros perceptíveis.

Desde as concepções bastante filosóficas de Aristóteles, passando por diversos pensadores medievais veementemente repreendidos pela Igreja, até chegar em Newton, um fato foi comum: todos os pensadores aqui citados possuíam o interesse em desvendar o porquê dos movimentos naturais, quais eram as leis que os regiam, fosse a queda de pedras e penas ou os movimentos aparentes de corpos fora da Terra.

De fato, Newton possuía informações acumuladas por mais de dois séculos e, sem elas, talvez não chegasse às conclusões que obteve. Diante dos fatos constatados, não é difícil concordar que a célebre citação atribuída a Newton “*Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes*” é de autoria do gênio. Tal afirmação expõe a importância que a produção coletiva do conhecimento tem para o avanço da ciência como afirmam Carvalho, Travassos e Coeli (2014).

Hoje, de forma simples e resumida, a força gravitacional pode ser compreendida mentalmente através da percepção de que a interação gravitacional é um processo de duas etapas que envolvem um campo que age à distância. Por possuir massa, um corpo cria um campo gravitacional em todo o espaço ao seu redor.

2.2.2 A apreciação da gravidade

A apreciação da força da gravidade é diária, é ela que nos mantém presos ao planeta Terra, com “os pés no chão” por mais que estejamos no polo sul “de cabeça para baixo”, por exemplo. Isto viabiliza a percepção de que a força gravitacional é uma força atrativa e não repulsiva, é algo que está relacionado com a existência de dois corpos detentores de massa (um indivíduo e o planeta Terra), age de acordo com a distância entre os corpos envolvidos até mesmo sem contato, possui sempre direção vertical e aponta para o centro dos corpos.

Ao soltar qualquer corpo detentor de massa na superfície terrestre, o mesmo é atraído pela Terra e cai em “queda livre”. Ao enunciarmos o termo “livre” transmite-se a ideia de que não há forças atuando na massa que se encontra em queda, entretanto existe a atuação, por exemplo, da força gravitacional, que a faz cair ao nível do solo e que existe devido o corpo possuir massa. Tal fato torna o corpo “escravo” da tendência à queda “livre”.

2.2.3 A aceleração gravitacional, suas aproximações e unidades

Com o intuito de facilitar a sua compreensão, a aceleração gravitacional é comumente taxada por Professores de constante e, indo mais além,

aproximada para o valor de 10m/s^2 . Antes da infame generalização de seu valor, para a compreensão do que é a aceleração gravitacional, faz-se necessário um conhecimento prévio do que é essencialmente a aceleração.

A simplicidade de uma resposta como “é a variação da velocidade em função do tempo” não satisfaz, por exemplo, um indivíduo que não discerne sobre o que significa a expressão “em função”. Matematicamente, a aceleração pode ser entendida, em termos, como a divisão entre a diferença de velocidade de um móvel e o tempo gasto entre a referida variação de velocidade. Ou seja:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (2.6)$$

sendo que a é a aceleração, Δv é a diferença entre as velocidades final e inicial do móvel no intervalo de tempo Δt gasto durante a variação da velocidade.

A força gravitacional atuante no campo gravitacional terrestre chama-se força peso. Com direção vertical e com sentido ao centro da Terra, a força peso é descrita, em módulo, por:

$$P = mg, \quad (2.7)$$

sendo que m é sua massa e g é a aceleração gravitacional terrestre.

A aceleração gravitacional terrestre é capaz de evidenciar o quanto um corpo, de massa m_1 , pode ter sua velocidade variada devido certa proximidade da Terra de massa m_2 . Considerando um corpo em equilíbrio na superfície terrestre, em módulo, a força peso será igual à força gravitacional, ou seja:

$$P = F_g. \quad (2.8)$$

Então podemos afirmar que:

$$m_1 g = \frac{G m_1 m_2}{r^2}, \quad (2.9)$$

logo, temos que:

$$g = \frac{Gm_2}{r^2}. \quad (2.10)$$

Por meio da equação (2.10), para definirmos o valor da aceleração que um corpo em queda livre está sujeito na superfície terrestre, não é necessário conhecermos sua massa, mas necessitamos de dados como a massa do planeta Terra ($m_2 = 5,972 \times 10^{24} \text{ kg}$), o raio médio da Terra ($r = 6,371 \times 10^6 \text{ m}$) e a constante de gravitação universal.

Com base nesses valores apresentados, o valor encontrado da gravidade é de $g = 9,819 \text{ m/s}^2$. Vale ressaltar que esse valor é obtido utilizando valores aproximados tanto da massa quanto do raio da Terra, dessa forma, o valor da gravidade encontrado é também, aproximadamente, uma média da aceleração gravitacional na superfície terrestre.

É comum encontrarmos referências que citam apenas a unidade de aceleração m/s^2 , no Sistema Internacional de Unidades. Entretanto, geofísicos utilizam a unidade Gal (em homenagem a Galileu) em que 1Gal é igual à 1 cm/s^2 que também é igual à $0,01 \text{ m/s}^2$.

A utilização da unidade Gal para cálculo da aceleração pode servir como uma forma de melhor expressar a ideia da grandeza. Pois, devido à relação entre m/s^2 e Gal ser de 1 para 100, ou seja, $9,78 \text{ m/s}^2$ correspondem a 978 Gals, trabalhar com Gals é trabalhar com números maiores, que podem ilustrar variações também inteiras e assim apresentar algo mais palpável para o aluno, por não se tratar com partes decimais.

2.2.4 A forma da Terra e as conseqüentes interferências no valor da gravidade

A superfície terrestre não é homogênea em toda sua extensão. Tanto elevações como depressões do relevo conferem à superfície variações de altura com relação ao nível do mar. A forma tridimensional e aproximada da superfície terrestre é de um geóide.

Silveira (2014) trata do assunto afirmando que:

O geóide é uma figura geométrica que representa a forma da Terra aproximadamente. Na verdade é a forma de uma superfície equipotencial gravitacional que coincide, em média, com o nível dos mares. Assim sendo o geóide não descreve em detalhes a superfície real da Terra pois as montanhas e as depressões abaixo do nível médio dos mares não estão contempladas no geóide” (SILVEIRA, 2014).

Consta no glossário cartográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE que geóide é:

Figura definida como a superfície eqüipotencial do campo de gravidade da Terra que melhor se aproxima do nível médio dos mares, supostos homogêneos e em repouso. Embora melhor descreva a forma física da Terra, o geóide se caracteriza por grande complexidade em função da distribuição irregular de massas no interior da Terra e, conseqüentemente, por difícil representação matemática, o que leva à adoção do elipsóide como forma matemática da Terra, devido à simplificação decorrente de seu uso (IBGE, 2015).

Entretanto, é possível encontrar na literatura que a superfície terrestre pode ser considerada também de forma elipsoidal, ou um elipsóide.

Segundo Santiago (2015):

O elipsóide é uma superfície regular definida matematicamente e com dimensões especificadas. O geóide, por seu turno, coincide com a superfície que os oceanos descreveriam se fossem livres para se ajustar ao efeito combinado da atração gravitacional causada pela distribuição de massa da Terra e pela força centrífuga resultante de sua rotação. Devido à distribuição irregular da massa da Terra, a superfície do geóide é irregular e, como o elipsóide é regular, essas superfícies não serão coincidentes. As diferenças são usualmente chamadas de ondulações geoidais, alturas geoidais ou separações geoidais (SANTIAGO, 2015).

Independente da nomenclatura, o fato da Terra não ser homogênea interfere no cálculo do valor da aceleração da gravidade em um ponto de latitude em questão. Desconsiderando variações de altura em relação ao nível do mar, devido ao achatamento dos polos, há variação do raio da Terra, desde um polo até a seção equatorial. A distância entre a superfície e o centro do planeta aumenta, fato este que concebe valor da aceleração gravitacional maior nos polos e menor sobre a Linha do Equador.

Soares (2011) ainda evidencia que além da rotação da Terra, fatores como as marés e a forma não esferoidal da Terra entram no cômputo do valor da aceleração gravitacional.

2.2.5 O cálculo do valor da aceleração gravitacional

Lopes (2008), em publicação para o Caderno Brasileiro de Ensino de Física, trata sobre a variação gravitacional diante de variações de altitude e latitude afirmando previamente que é evidente a dificuldade dos alunos em perceber que a aceleração gravitacional não é constante, como segue citação abaixo:

É notória a dificuldade de alguns alunos, que ingressam no curso superior, em admitir que a aceleração da gravidade não seja uma grandeza física constante. Afinal, é natural que, após um longo período de tempo (pelo menos três anos) usando $9,8 \text{ m/s}^2$ (ou seu valor aproximado para 10 m/s^2) ficasse consolidado, na mente do aluno, essa grandeza física como sendo constante. Contudo, o vetor aceleração da gravidade varia em módulo, direção e sentido. Sugere-se, portanto, que o professor de Física, no curso secundário e mesmo no início do curso superior, discuta com seus alunos a respeito desse tema, mostrando aos mesmos que o peso de qualquer objeto é função do vetor aceleração da gravidade (LOPES, 2008, p.562).

Bomfim e Molina (2009) afirmam que modelos físicos complexos, que se utilizam de satélites artificiais têm sido desenvolvidos para descrever de forma rigorosa o campo gravitacional da Terra levando em consideração mudanças de gravidade que são causadas por variações na distribuição de massa da superfície da Terra.

2.2.5.1 O valor da gravidade conforme a latitude

Há algumas expressões que têm sido utilizadas para descrever matematicamente o módulo da aceleração da gravidade em função da latitude na superfície terrestre. Uma delas é a expressão conhecida como a Fórmula Internacional da Gravidade de 1967 que Ferreira (2011) expressa por:

$$g = 9,7803185(1 + 0,0053024 \text{ sen}^2 \varphi - 0,0000059 \text{ sen}^2 2\varphi) .$$

Os valores da gravidade para cada ponto de latitude φ , calculados com a fórmula internacional, chamam-se valores teóricos ou normais da gravidade para pontos sobre a superfície da Terra ao nível da mesma.

A utilização da fórmula internacional da gravidade serve como um exemplo em que o aluno pode utilizar dos conhecimentos adquiridos em trigonometria.

É interessante ressaltar que, desde o século passado, a humanidade vem desenvolvendo fórmulas cada vez mais precisas para a determinação do valor da gravidade em função da latitude. Em 1980, por exemplo, a Associação Internacional de Geodésia adotou uma nova fórmula que possui precisão de $0,1 \mu\text{Gal}$, já a fórmula internacional do Sistema Geodésico de Referência, de 1967, possui precisão de $4 \mu\text{Gals}$.

2.2.5.2 O cálculo da gravidade conforme a altitude

Não estando na superfície terrestre, mas sim a uma altura h em relação ao nível do mar, o módulo do valor de g passa a depender de uma nova distância que é definida pela soma entre r e h , ou seja:

$$g = \frac{Gm_2}{(r+h)^2} \quad (2.11)$$

A Tabela 1 e a Figura 6 a seguir evidenciam o quanto o módulo da aceleração gravitacional diminui devido ao aumento da distância entre o centro da Terra e um corpo em questão.

Altura h (em metros)	Gravidade g (em Gals)	Gravidade g (em m/s^2)
0	981,9	9,819
1.000	981,6	9,816
10.000	978,8	9,788
100.000	951,8	9,518
1.000.000	733,5	7,335
2.000.000	568,7	5,687
3.000.000	453,8	4,538
4.000.000	370,5	3,705
5.000.000	308,2	3,082

6.000.000	260,4	2,604
7.000.000	222,9	2,229
8.000.000	192,9	1,929
9.000.000	168,6	1,686
10.000.000	148,7	1,487
15.000.000	87,26	0,872
20.000.000	57,31	0,573

Tabela 1 – Relação entre a gravidade terrestre g e a altura h

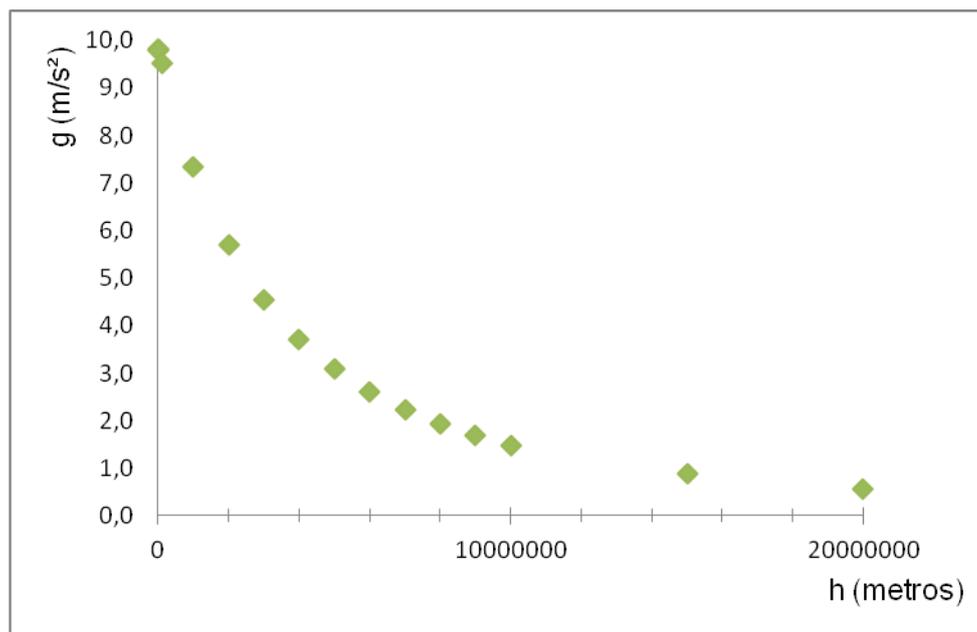


Figura 6 – Gráfico da aceleração g versus h

É notável que a relação entre distância e gravidade é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior for a distância entre um corpo e o planeta Terra, menor será o campo gravitacional terrestre atuante no corpo em questão.

O gráfico apresentado na Figura 6 apresenta uma interpretação melhor ainda da relação inversamente proporcional entre g e h .

Reis *et alli* (2008) citam que satélites que apresentam um plano de órbita com inclinação próxima a do equador terrestre são os chamados satélites de órbita equatorial e os mesmos situam-se em torno de 36.000 Km de altitude. Evidenciam também que, satélites de órbita polar, aqueles que possuem órbita orientada perpendicularmente ao equador terrestre, passam pelos polos terrestres e situam-se a altitudes entre 700 Km e 1000 Km.

2.2.5.3 O valor de g por meio da realização do experimento do pêndulo simples

Um método para realizar o cálculo do valor da aceleração gravitacional, de forma mais simplificada, porém menos precisa: por meio da realização do experimento do pêndulo simples.

Um pêndulo simples é um sistema que consiste em uma partícula suspensa por um fio com massa desprezível e inextensível. Quando afastada da posição de equilíbrio sobre a linha vertical que passa pelo ponto de suspensão do fio, e abandonada, essa partícula oscila no plano vertical sob a influência da força gravitacional.

“Durante os três últimos séculos, o pêndulo foi o mais confiável medidor de tempo que se dispôs” (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2007, p.95).

Ainda Halliday, Resnick e Krane (2007, p.95) evidenciam que a “utilização do pêndulo simples também propicia um procedimento conveniente para a medição do valor da aceleração gravitacional”.

A Figura 7 a seguir mostra um pêndulo simples de comprimento L e um corpo de massa m em um instante em que o fio faz um ângulo θ com a vertical e, dessa forma, é possível evidenciar as forças que atuam sobre a partícula. O movimento ocorre ao longo de um arco de circunferência de raio L .

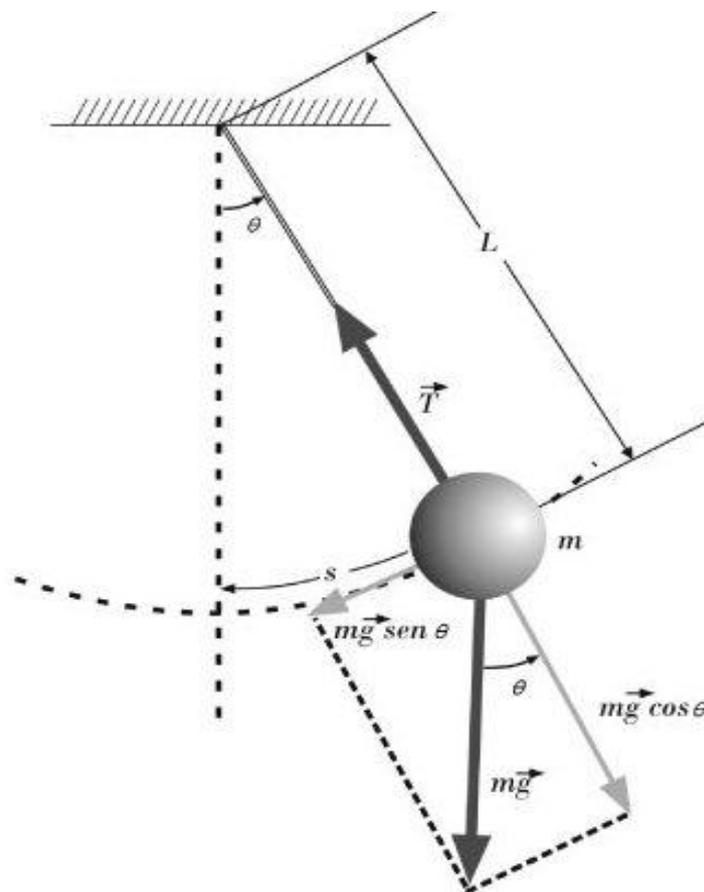


Figura 7 – Diagrama de forças atuantes no pêndulo (ARNOLD *et alli*, 2011)

Por conveniência, para realizar a análise vetorial das forças envolvidas no sistema, escolhe-se um eixo (x) de referência tangente à circunferência de raio L e o outro eixo (y) direcionado ao longo do raio. A força decomposta segundo sua componente radial possui valor expresso por $mg \cos \theta$ e tangencial com intensidade de $mg \sin \theta$.

A componente radial das forças atuantes propicia a aceleração centrípeta necessária para manter o corpo suspenso pelo fio em movimento com trajetória circular. Já a componente tangencial é a força restauradora que atua sobre o corpo suspenso e que tende a retorná-lo a sua posição de equilíbrio.

Dessa forma, é possível expressar a força restauradora por:

$$F_x = -mg \sin \theta, \quad (2.12)$$

sendo que o sinal negativo indica que a força F_x é oposta ao sentido dos incrementos de x e de θ .

A componente da força Peso, que é dada por $mg\cos\theta$, se anulará com a força de tensão do fio e, dessa forma, a única causa do movimento oscilatório é a força de direção tangencial à circunferência de raio L , F_x .

Note que a força restauradora não é proporcional ao deslocamento angular θ , mas sim ao $\sin\theta$. O movimento resultante, portanto, não é um movimento harmônico simples, movimento este que pode ser definido como um movimento oscilatório. Entretanto, se o ângulo θ for pequeno, $\sin\theta$ será muito próximo de θ , expresso em radianos. Por exemplo, se $\theta = 5^\circ (= 0,0873\text{rad})$, então $\sin\theta = 0,0872$, que difere de θ em apenas $0,01\%$. Dessa forma, o deslocamento x será, então, aproximadamente igual ao comprimento do arco dado pelo produto entre L e θ (exatamente igual ao produto entre L e $\sin\theta$) e, para pequenos ângulos, este será um movimento aproximadamente retilíneo.

Então, partindo da consideração de que $\sin\theta \approx \theta$, temos:

$$F_x = -mg\sin\theta = -mg\theta = -mg\frac{x}{L} = -\left(\frac{mg}{L}\right)x. \quad (2.13)$$

Para pequenos deslocamentos, a força restauradora é proporcional ao deslocamento e oposta a este. Esse é exatamente o critério para que ocorra o movimento harmônico simples e, de fato, se considerarmos:

$$\left(\frac{mg}{L}\right) = k, \quad (2.14)$$

a equação (2.14) possuirá aparência semelhante à:

$$F = -kx, \quad (2.15)$$

que é a equação que expressa a força atuante em uma partícula em um sistema oscilante de uma dimensão, cujo movimento é designado como movimento harmônico simples.

A partir daí, como o período de oscilação de um movimento harmônico simples pode ser calculado através da expressão:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (2.16)$$

podemos afirmar que, substituindo a equação (2.14) na equação (2.16) o período do pêndulo simples, quando sua amplitude é pequena, pode ser obtido através da equação:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (2.17)$$

É possível notar que em sua composição não aparece a variável relativa à massa do corpo que oscila, isto é, o período de oscilação não depende da massa do corpo oscilante.

É interessante ressaltar que o período T de uma oscilação corresponde ao tempo gasto pelo pêndulo para sair de sua posição inicial e retornar bem próximo ao seu local de origem, ou seja, o tempo despendido para ir e vir.

Outro fato que vale ser ressaltado é que, como existem forças dissipativas durante a oscilação, a partícula oscilante jamais voltará a sua posição exata de partida, entretanto, para pequenas amplitudes e poucas oscilações, a diferença entre a posição de origem e a posição de retorno é ínfima e pode ser desprezada. Porém, quanto maior a amplitude da oscilação, maior será o amortecimento da mesma.

Através da utilização de instrumentos de medição como trena e cronômetro é possível determinar os valores de L e T , respectivamente para obtermos a terceira variável na equação (2.17): a aceleração da gravidade. Entretanto, é interessante destacar que pequenos erros tanto no comprimento do fio de suspensão como na medição do tempo de oscilação podem gerar diferenças no valor de g . Outro ponto que vale ser frisado é que, em um experimento, é praticamente impossível alcançarmos as condições ideais para sua realização, ou seja, é muito provável que fatores externos ao experimento influenciem no resultado final obtido como evidenciado por Arnold *et alli* (2011):

Este modelo, apesar de fornecer elementos instrutivos e didáticos para determinação da aceleração da gravidade, possui uma premissa falha, pois não considera o efeito das forças de amortecimento das oscilações. Segundo o modelo utilizado, o pêndulo oscilaria com amplitude fixa e indefinidamente. Tal amortecimento citado pelos autores

ocorre, principalmente, pela resistência do ar sobre as peças que constituem o pêndulo (ARNOLD *et alli* 2011, p.2).

Ainda Arnold *et alli* (2011, p.1) afirmam que “a abordagem do pêndulo como elemento de estudo pode ocorrer em diferentes níveis, mas, inequivocamente, encontra-se sempre presente nas disciplinas introdutórias de física básica”.

O período de oscilação do pêndulo serve, por exemplo, como padrão para o *andamento* de um relógio. A aceleração da gravidade, sendo maior em um dado local A, fará com que o período de oscilação seja menor do que B se o valor da gravidade em B é menor. Em outras palavras, em A, o pêndulo completa uma oscilação completa de ida e volta em menos tempo, pois o corpo oscilante está sujeito a uma aceleração maior. É possível perceber que um relógio de pêndulo acertado na localidade A, ao ser levado para a localidade B, apresentará um *atraso* devido à diferença entre o valor da aceleração gravitacional.

3. A REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DO PÊNULO SIMPLES

O curso pré-vestibular, um dos locais onde o mestrado atua profissionalmente, foi a opção de local definido para realização do experimento, devido possuir uma maior quantidade de alunos para participar, bem como responder aos questionários prévio e posterior à realização do experimento do pêndulo simples, que se encontram dentro do produto educacional disponível no APÊNDICE desta dissertação.

A experimentação no ensino de Física justifica-se por servir “como ferramenta auxiliar ao processo ensino-aprendizagem ou como sendo o próprio processo da construção do conhecimento científico, na contribuição positiva no processo de formação do cidadão” (ALVES; STACHAK, 2005, p.2).

Thomaz (2000) citado por Alves (2006) observa que o trabalho experimental é uma forma de propiciar o desenvolvimento dos alunos, como segue:

Existem vários pesquisadores defendendo que o trabalho experimental é um meio por excelência para a criação de oportunidades para o desenvolvimento dos alunos. Também afirma que caso se pretenda que os alunos estejam motivados para a execução de trabalhos experimentais, em qualquer nível de ensino, é preciso que a tarefa que os professores lhes proporcionem seja apelativa, que constitua um desafio, um problema ou uma questão que o aluno veja interesse em resolver, que se sinta motivado para encontrar uma solução (THOMAZ, 2000 *apud* ALVES, 2006, p.13).

Em seu trabalho, Alves (2006) destaca os aspectos positivos da realização de atividades experimentais para o processo ensino-aprendizagem, como segue:

O desenvolvimento de atividades experimentais pode ser uma possibilidade de transição dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas de ensinar Física. De acordo com a nossa experiência, quando o professor introduz os experimentos em sala de aula, ele se vê frente a um novo comportamento dos alunos: mais interessados e participativos. Neste momento, ele poderá optar por uma determinada didática que inclua o uso de atividades experimentais (ALVES, 2006, p.13).

Feix, Saraiva e Kipper (2012) enfatizam a importância da Física experimental no processo ensino-aprendizagem, como segue:

As aulas de Física experimental têm como objetivo implementar ações que melhorem o interesse dos estudantes pela disciplina e mostrem as possibilidades de utilizar essas aulas como lócus para raciocinar, para compreender as causas e os efeitos que ocorrem no nosso cotidiano. Essa prática, a da experimentação, pode auxiliar, também, na tomada de decisões, porque aprimora a observação, a paciência e a curiosidade, fazendo parte de uma dimensão que perpassa a sala de aula. A partir dela, é possível dizer que, ao praticarmos a observação e o trabalho em equipe, podemos promover a formação de cidadão, uma vez que começamos a entender a vida que nos rodeia e a importância da busca do diálogo e do entendimento coletivo em relação aos fenômenos observados (FEIX; SARAIVA; KIPPER, 2012, p.1).

3.1 Metodologia

Previamente à realização do experimento houve um diálogo com os alunos com o objetivo de informá-los quais eram as pretensões em realizar aquela aula “diferente” com eles. Após deixá-los cientes de que realizaríamos um experimento com o objetivo de calcular o valor aproximado da aceleração da gravidade, os discentes foram informados que os interessados em participar do experimento deveriam responder um questionário prévio.

Em consenso com os próprios alunos, vinte minutos foi o tempo definido como suficiente para que eles respondessem ao questionário. Decorrido o tempo preestabelecido, o experimento foi iniciado seguindo o roteiro experimental previamente elaborado.

3.2 Montagem e realização do experimento

Em seguida, iniciou-se a montagem do pêndulo. Após sua montagem, optamos por realizar a medição do comprimento do pêndulo para certificar que o mesmo não possuía grande discrepância do valor almejado (dois metros). Então, foi proposto que dois alunos fizessem a medição sem que um soubesse o valor encontrado pelo outro. Após os dois medirem o comprimento, os

mesmos afirmaram que o pêndulo realmente possuía dois metros de comprimento.

Diante da constatação, foi solicitado que outro aluno determinasse a posição de início de oscilação do pêndulo medindo com o transferidor um ângulo “não maior que 15° ”, como sugerido pelo roteiro experimental.

Outro aluno ficou com um cronômetro em mãos para que pudesse aferir o tempo de oscilação do pêndulo, porém antes foi necessário definir a posição de início de oscilação.

Com “aproximadamente 10° de abertura”, como colocado pelo aluno que se referia ao ângulo entre a posição de equilíbrio e a posição de início de oscilação, o pêndulo oscilou dez vezes como recomendado pelo roteiro experimental.

Aproveitando a sugestão do roteiro, indaguei aos alunos sobre o porquê de cronometrar dez oscilações e não apenas uma, pois caso fosse apenas uma oscilação, não haveria necessidade de calcular a média do período de oscilação.

Um aluno foi sensato ao responder: “é mais fácil medir um tempo grande do que um tempo pequeno”.

De fato, essa resposta foi satisfatória, visto que a visualização das dez oscilações permite que o aluno tenha uma noção melhor de onde termina o movimento de uma oscilação, bem como medir a parte decimal do tempo com precisão é realmente difícil dispondo apenas de um cronômetro manual.

O tempo das dez oscilações foi de $28,01\text{s}$. Em média, para realizar uma oscilação, o pêndulo demorou $2,8\text{s}$ e este resultado, bem como o comprimento do pêndulo, foram anotados no quadro.

De posse do período médio de oscilação e do comprimento do pêndulo, foi apresentada a equação sugerida pelo roteiro experimental que é possível determinar o valor de g em função de L e T :

$$g = L \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 . \quad (2.18)$$

Considerando $\pi = 3,14$, o valor de g encontrado foi de $10,06 \text{ m/s}^2$.

Após a conclusão do experimento com apenas um pêndulo oscilando, realizou-se o experimento com dois pêndulos paralelos oscilando simultaneamente, o segundo pêndulo foi montado com mesmo comprimento do primeiro, porém com outra esfera metálica de massa diferente (e volume maior também) com relação à esfera metálica do primeiro. Os dois ficaram posicionados paralelamente, de forma que fosse possível dar a mesma amplitude para os dois pêndulos.

Nessa parte do experimento não houve a aferição do tempo, porém, antes do início da oscilação dos dois pêndulos simultaneamente, perguntei: O fato de utilizarmos massas diferentes acarretará em um tempo de oscilação igual ou diferente para os dois pêndulos?

Os alunos que se dispuseram a responder, responderam aparentemente de forma intuitiva: diferente!

Então, os dois pêndulos foram colocados para oscilar e foi possível constatar tempos iguais apenas nas duas primeiras oscilações. Nas seguintes, quase que imperceptíveis diferenças de período de oscilação entre os dois puderam ser observadas.

A intenção de realizar o experimento com os dois pêndulos paralelos e abandonados simultaneamente foi de fazer com que os alunos pudessem visualizar que as massas diferentes não interfeririam no tempo de oscilação. Caso os dois pêndulos tivessem o mesmo comprimento e mesma amplitude que também foi de “aproximadamente 10° de abertura”, o tempo de oscilação seria o mesmo em todas as oscilações, não apenas na primeira e segunda. Então, algo influenciou na diferença de tempo de oscilação a partir da terceira oscilação. Esse “algo” foi explicado posteriormente por um dos próprios alunos.

Posteriormente ao experimento com apenas um pêndulo e com os dois pêndulos oscilando simultaneamente em paralelo, foi solicitado aos alunos que respondessem ao questionário posterior com os mesmos vinte minutos disponibilizados anteriormente.

3.3 Um diálogo

Após a conclusão dos questionários posteriores ao experimento, iniciamos um diálogo que trouxe à tona questões como possíveis erros nas medidas que foram realizadas por nós através de nossos instrumentos.

“Se a nossa trena tivesse sido utilizada de forma errada e o comprimento do pêndulo fosse, na verdade, um valor maior ou menor do que nós queríamos?”

“E o tempo? Cronometramos de forma precisa, exata?”

“Considerar π exatamente igual à 3,14 e desconsiderar as outras casas decimais pode interferir no valor de g encontrado?”

Já consciente de que os alunos estavam aptos para perceber que possíveis erros não intencionais causados por nós nos levariam a obtenção de valores não exatos, mas sim aproximados, sugeri investigar quais seriam outras possíveis interferências e como elas poderiam influenciar no resultado encontrado da aceleração da gravidade.

“A resistência do ar” foi a primeira colocação de um dos treze alunos participantes. Indaguei sobre o que seria tal resistência e o mesmo respondeu prontamente: o atrito.

Após sua colocação mostrei a janela aberta, bem como o ventilador em funcionamento e evidenciei que talvez pudéssemos chegar a um valor mais aproximado ainda do fornecido pela literatura se diminuíssemos as interferências externas.

O referido valor da literatura foi obtido através da Fórmula Internacional da Gravidade de 1967 que, utilizando a latitude de $23^{\circ}27'$, forneceu o valor de $g = 9,79 \text{ m/s}^2$.

Outra colocação de outro aluno foi que os volumes diferentes das esferas metálicas utilizadas teriam áreas de contato com o ar também diferentes, sendo assim a de maior volume sofreria mais atrito com o ar se comparada a de menor volume. Com essa colocação o aluno respondeu o porquê dos tempos diferentes de oscilação dos dois pêndulos.

Aproveitando o esclarecimento e afirmei que, caso o experimento fosse realizado no vácuo, não haveria atrito entre as esferas e o ar, logo, volumes diferentes das esferas não interfeririam no experimento.

A partir disso, foi possível observar que seria interessante realizar o experimento desde o início com esferas de massas diferentes, entretanto volumes iguais, para evitar a errada ideia de que massas diferentes (quando na verdade os responsáveis são os volumes diferentes) propiciam períodos de oscilações diferentes. A partir daí o roteiro experimental foi alterado e passou a sugerir a utilização de esferas metálicas de massas diferentes e volumes iguais, ou seja, esferas metálicas de densidades diferentes.

3.4 Analogia entre o movimento de oscilação do pêndulo e a queda livre

Já desmontando os pêndulos, optei por sugerir uma analogia da queda livre das duas esferas metálicas de massas diferentes com as suas oscilações nos pêndulos: Se colocadas as duas em queda livre a partir de uma mesma altura, quem chega primeiro ao chão? O que há em comum entre a queda livre das duas esferas e o movimento de oscilação das mesmas duas esferas em pêndulos?

Infelizmente, os alunos concederam resposta apenas para a primeira pergunta e tal resposta foi a embasada na refutada concepção aristotélica: “A mais pesada”.

Diante da oportunidade, trouxe à tona a questão da queda livre da pena e da pedra de uma mesma altura: “As duas com massas diferentes, a pena, menos pesada demora mais a chegar ao chão, certo? Por quê?”

Todos concordaram, mas nenhum explicou o porquê de tal fato acontecer. A partir daí, foi possível tratar sobre o assunto abordando aspectos históricos do movimento dos corpos.

Foi evidenciado que a ideia de que o tempo de queda é influenciado pela massa dos corpos em queda livre, é uma constatação errada. Esclarecendo que essa visão, hoje, é tida como errada cientificamente, porém perdurou cerca de dois séculos, desde Aristóteles até o período medieval quando Galileu conseguiu notar que o ar é um fluido e que esse fluido, assim como outros

estudados pelo renascentista como água doce, salgada e vinho, exerce resistência nos corpos que iniciam queda livre.

A partir daí, foi possível mostrar que a queda da pena demora mais não pelo fato da pena possuir pouca quantidade de matéria em relação à pedra, mas sim pelo fato dela sofrer maior resistência do ar em relação à pedra.

Em seguida, foi exposto que Galileu conseguiu concluir através de seus estudos que, caso fosse possível eliminar completamente a resistência do meio que envolve os corpos em queda, todos desceriam com a mesma variação de velocidade independente de suas massas.

Embasado em afirmações de Cherman e Mendonça (2010) foi colocado que, em 1971, o astronauta David Scott realizou o experimento de queda livre deixando cair simultaneamente um martelo geológico e uma pena de falcão de uma mesma altura na superfície da Lua. Como lá não há atmosfera, não há resistência do ar. O resultado obtido confirmou que Galileu estava correto em suas análises, apesar de que, em 1971, ninguém mais duvidava disso. Então, sugeri que os alunos realizassem uma busca pelo vídeo do astronauta realizando o experimento na Lua.

Entretanto, até então não havíamos chegado à questão do por quê da analogia. Foi esclarecido que a analogia da queda livre com a oscilação do pêndulo era intencional por que os dois experimentos possuem essencialmente fatos em comum: a gravidade tem influência no tempo de queda, bem como no período de oscilação no caso do pêndulo, porém as massas dos corpos que caem ou oscilam não influenciam.

3.5 Serventia de grande valia

Por fim, foram expostas no quadro as equações que permitem determinar o tempo de queda livre (Movimento Retilíneo Uniformemente Variado) e de oscilação, respectivamente, de corpos que partem do repouso:

$$t = \sqrt{\frac{2S}{g}} \quad \text{e} \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (2.19) \quad (2.20)$$

Todas as variáveis já foram apresentadas anteriormente, com exceção da variável S que representa o espaço percorrido pelo corpo em queda livre entre o ponto de partida e o chão.

Com as equações descritas, foi exposto que a variável referente à massa dos corpos que se encontram em queda livre e em oscilação no pêndulo simples não aparece nas duas equações.

Dentre todas as etapas do experimento, o momento mais importante e, creio eu que, satisfatório para qualquer Professor, foi quando, após expor as fórmulas no quadro e afirmar que a massa não interfere no tempo de queda nem de oscilação, um aluno evidenciou seu *insight* falando: “Aaahhhh, agora eu entendi!”.

Feliz, mas ainda não conformado, solicitei que o mesmo explicasse o que ele havia entendido e o mesmo afirmou algo do tipo: “Como a gravidade é a mesma para os dois corpos, seus tempos são iguais. O que influencia não é a massa da chumbada, é a Terra”.

É possível considerar que o aluno obteve um *insight*, pois foi perceptível que naquele momento ele via a situação “com outros olhos” de uma forma diferente da qual entendia antes.

No início do presente trabalho foi exposta a definição de *insight*. De forma resumida, “o aprendiz que tem um *insight* vê a situação de uma maneira nova, a qual inclui compreensão de relações lógicas ou percepção das conexões entre os meios e fins” (HILL, 1990 *apud* MOREIRA, 2014, p.44).

Cabe aqui também destacar que *insight*, segundo o *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*, pode ser entendido como “compreensão ou solução de um problema pela súbita captação mental dos elementos e relações adequados à solução”, ou “a faculdade ou ato de ver dentro de uma situação”, ou ainda “o ato ou resultado de perceber a natureza interior das coisas” (HOUAISS e VILLAR, 2001, p.1624).

A grande maioria dos estudantes não consegue assimilar de forma satisfatória as relações existentes entre o modelo e o fenômeno observado. Com isso, o aprendizado do conceito envolvido acaba acontecendo de forma incompleta e a relação do aluno com o conteúdo apresentado tem grande chance de se reduzir a nossa velha conhecida situação em que dois mundos permanecem isolados: de um lado, os conceitos físicos; de outro, os exercícios quase matemáticos que

normalmente são resolvidos de forma mecânica (DUARTE, 2012, p.527).

Apesar de entender que a posição do Professor sobre a realização do experimento é um tanto subjetiva, sob tal ótica, foi possível perceber que o comportamento de cada aluno durante a realização do experimento foi diferente. Os alunos demonstraram uma sede pelo conhecimento, uma vontade maior de entender aquele tema que estava sendo tratado. Essas demonstrações de “vontades” não aparecem tão evidentemente durante aulas puramente teóricas. A partir daí, mesmo sem a análise dos questionários, já era possível concluir que a realização do experimento havia sido de grande valia.

3.6 Registro fotográfico do experimento

A seguir apresenta-se o registro fotográfico de algumas etapas da realização do experimento.

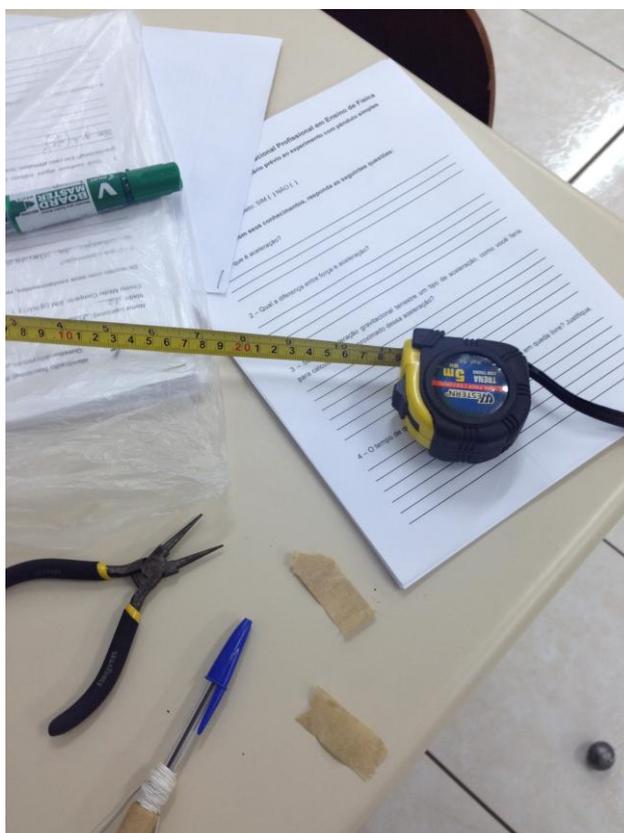


Figura 8 – Parte dos materiais utilizados



Figura 9 – Suporte do pêndulo simples



Figura 10 – Foto do pêndulo simples com dois metros de comprimento



Figura 11 – Foto da vista de baixo para cima de um pêndulo simples



Figura 12 – Foto da vista de baixo para cima de dois pêndulos simples em paralelo



Figura 13 – Alunos realizando a medição do comprimento do fio do pêndulo



Figura 14 – Alunos realizando o experimento

4. A AVALIAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS

As questões contidas nos dois questionários foram definidas em consenso com o orientador. Os dois questionários, com cinco questões dissertativas cada, foram aplicados com o objetivo de constatar quais as concepções comumente erradas de conceitos relacionados ao tema abordado no trabalho, bem como se o experimento serviu como ferramenta para guiar o aluno rumo concepções sobre as grandezas e os conceitos abordados sob uma ótica cientificamente correta.

Com a intenção de não inibir o aluno, foi decidido que não seria solicitado o nome do mesmo com o intuito de fazer com que, a partir do anonimato, o discente pudesse se sentir mais à vontade, sem medo de errar, já que o mais importante seria a resposta e não uma resposta qualitativa exata.

Como no curso pré-vestibular há grande variação etária entre os alunos, optou-se por questionar a idade do aluno com o objetivo de estimar se os mais velhos possuíam ou não maior clareza sobre o tema abordado em relação aos mais novos. Tal objetivo não foi possível ser alcançado, visto que, dos treze alunos que responderam, apenas um possuía 26 anos, os outros doze alunos possuíam 20 ou menos.

Outro aspecto almejado de ser constatado foi se o fato do aluno possuir ensino médio completo lhe dá maior condição de responder mais questões de forma correta ou não.

A Tabela 2 a seguir expõe a quantidade de alunos que deram repostas satisfatórias, insatisfatórias ou admitiram não saber a resposta a cada uma das questões.

Legenda: S (Concluiu o ensino médio); N (Ainda não concluiu o ensino médio).

	Respostas satisfatórias	%	Respostas insatisfatórias	%	Não sabe	%
Questão 01	2S+5N=7	53,8%	4S+2N=6	46,2%	0S+0N=0	0,0%
Questão 02	2S+3N=5	38,5%	4S+4N=8	61,5%	0S+0N=0	0,0%
Questão 03	2S+2N=4	30,8%	1S+5N=6	46,1%	3S+0N=3	23,1%
Questão 04	2S+5N=7	53,8%	4S+2N=6	46,2%	0S+0N=0	0,0%
Questão 05	5S+7N=12	92,3%	1S+0N=1	7,7%	0S+0N=0	0,0%
Questão 06	3S+6N=9	69,2%	3S+1N=4	30,8%	0S+0N=0	0,0%
Questão 07	5S+4N=9	69,2%	1S+3N=4	30,8%	0S+0N=0	0,0%
Questão 08	4S+6N=10	76,9%	2S+1N=3	23,1%	0S+0N=0	0,0%

Tabela 2 – Tipos de respostas para cada questão

A análise dos questionários é fundamentada na justificativa da escolha de cada uma das questões, no relato de relevantes respostas, bem como constatações observadas acerca das respostas e das relações entre as respostas.

4.1 Análise dos questionários prévios

Partindo do questionário prévio, a primeira questão “O que é aceleração?” foi escolhida com o intuito de tentar observar se o entendimento dessa grandeza física em questão realmente existe. Em caso negativo, não é conclusivo que o mesmo aluno entenda o que é aceleração gravitacional.

O que foi considerado como satisfatório para a resposta dessa questão foram afirmações semelhantes à dada por um aluno de dezessete anos, ainda no ensino médio: “É a relação entre o quanto a velocidade de um corpo pode mudar e o tempo que demora essa mudança”.

É interessante destacar que o aluno não usou o termo “aumenta”, mas sim “pode mudar”. Comumente o aluno considera aceleração como sendo uma variação de velocidade positiva, ou seja, a velocidade final é maior que a inicial em certo período determinado de tempo. A expressão “pode mudar” remete também a uma variação negativa de velocidade, o que também é um tipo de aceleração, porém, neste caso, negativa.

Essa questão relaciona-se com as duas questões seguintes.

Força e aceleração são comumente confundidas. A questão 2 “Qual a diferença entre força e aceleração? ”, foi a segunda com o menor índice de respostas satisfatórias, apenas cinco dos treze alunos responderam de forma concreta à questão.

Não é surpreendente. Força gravitacional e aceleração gravitacional, por exemplo, são comumente confundidas. A força gravitacional depende da massa de um corpo em queda livre, por exemplo, já a aceleração gravitacional (terrestre) depende da massa da Terra, não da massa do corpo em queda. Sendo abandonadas de uma mesma altura e no vácuo, a força com que uma pena atinge o chão é menor que a força com que uma pedra, de maior massa, atinge o solo. Já as acelerações são as mesmas.

No cartum abaixo, de autoria de Jaguar, hilário cartunista brasileiro, é possível observar o personagem feliz por ter descoberto a lei da gravidade evidenciando que, caso fosse um coco e não uma maçã, a força gravitacional com que o fruto cairia sobre sua cabeça seria maior (assim como o estrago) devido maior massa do coco em comparação à maçã.



Figura 15 – Cartum que ilustra a diferença entre força e aceleração gravitacional (SARAUXYZ, 2015)

A utilização de cartuns como forma de tentar abordar certo conteúdo pode ser um método alternativo e menos formal à disposição do Professor. O produto educacional gerado a partir do presente trabalho conta com uma série de cartuns que abordam a aceleração gravitacional e outras grandezas que se relacionam com esta.

Já a terceira questão, “Sendo a aceleração gravitacional terrestre um tipo de aceleração, como você faria para calcular o valor aproximado dessa aceleração?” foi a questão com menor índice de resposta satisfatórias: 30,8%. Talvez, uma resposta como, “realizando o experimento do pêndulo simples de posse de seu comprimento e seu período de oscilação” fosse simples e satisfatória, contudo nenhum aluno respondeu dessa forma.

Os quatro alunos que responderam de forma satisfatória embasaram-se ou na equação horária do movimento uniformemente variado que relaciona espaço percorrido com tempo, ou na equação de Torricelli. Ambas as respostas não estão erradas.

Essa foi a única questão dos dois questionários que alguns alunos (três dos treze) admitiram não saber como respondê-la e, cabe aqui destacar, os

mesmos três alunos deram respostas insatisfatórias para as duas questões anteriores, bem como já possuíam o ensino médio completo.

Esta questão foi escolhida com o intuito de verificar se algum aluno possuía em mente o experimento do pêndulo simples como ferramenta para determinação da aceleração da gravidade. Tanto os que ainda estavam cursando como os que já haviam concluído o ensino médio não deram essa resposta. Talvez, a experimentação não tenha sido vivenciada pelo aluno, ou, se foi, talvez o aluno não tenha assimilado significativamente o que trata o experimento.

Finalizando o questionário prévio ao experimento, a quarta questão é: “O tempo de queda é influenciado pela massa de um corpo em queda livre? Justifique.” Sete dos treze alunos responderam de forma satisfatória. Esse índice é muito baixo se considerarmos que todos os alunos participantes já haviam estudado sobre aceleração gravitacional.

Ao analisar os questionários, foi possível observar que algumas respostas tidas como satisfatórias não foram tão dignas de satisfação, pois mesmo expressando verdades, aparentemente, as respostas apresentavam-se como respostas tipicamente mecânicas, decoradas. Exemplos: “Não. Pois uma pena e uma pedra caem da mesma altura em tempos iguais no vácuo”; “Não, pois a gravidade é a mesma para qualquer corpo”.

Uma resposta satisfatória que não necessariamente responde a questão, mas que evidencia entendimento sobre o tema é: “Se o corpo na queda sofrer interferência de um meio externo, como o ar ou a chuva, penso que o tempo de queda pode sim ser influenciado”.

Um aluno ainda no ensino médio respondeu às três primeiras perguntas de forma satisfatória, entretanto errou a quarta questão afirmando que “quanto maior a massa de um corpo, maior será a força que atuará sobre o mesmo. Assim, a sua aceleração será maior e então o tempo de queda acabará sendo menor”.

Essa última resposta evidencia bem o fato de que ainda hoje a visão aristotélica sobre o movimento dos corpos é tida como correta por parte da população carente de conhecimento científico. Possivelmente, o entendimento de aceleração, a diferença entre força e aceleração, assim como a forma como o discente expôs para calcular a aceleração da gravidade tenham sidos

aprendidos mecanicamente. Caso fosse significativa a aprendizagem do conceito de aceleração e aceleração gravitacional, assim como, caso também fosse significativa a aprendizagem da diferença entre força gravitacional e aceleração gravitacional, o aluno seria capaz de responder de forma correta a questão 04.

4.2 Análise dos questionários posteriores

No questionário respondido posteriormente ao experimento, a quinta questão foi colocada com o intuito de constatar se os alunos seriam capazes de reportar as possíveis causas que influenciariam na obtenção de um valor da gravidade diferente do que a literatura propõe. Analisando as respostas obtidas na questão, apenas um aluno não respondeu de forma satisfatória à questão: “O valor experimental de g encontrado lhe é satisfatório? Discorra sobre possíveis influências na divergência ou semelhança entre os valores”.

O referido aluno cometeu outros quatro equívocos nas quatro questões anteriores e no quesito em questão, afirmou: “a gravidade exata é 10” sem explicar possíveis causas na diferença entre os valores teóricos e experimentais.

Todos os outros doze alunos afirmaram estar satisfeitos com o resultado alcançado devido à pequena diferença entre o mesmo e o valor sugerido pela literatura (teórico), evidenciando ou o vento como interferência física no experimento, ou imprecisões no manuseio dos instrumentos como a trena ou o relógio durante o experimento.

Já na questão 06, “A utilização de esferas de massas diferentes influenciou nos valores da aceleração da gravidade g e do período T ? Por quê?”.

Nove dos treze (69,2%) responderam coerentemente à questão justificando que a massa não entra no cálculo do período e, ainda, alguns colocaram também que a gravidade independe das massas das esferas metálicas.

É interessante ressaltar que a questão dos volumes diferentes entre as esferas foi aqui evidenciada por um aluno que respondeu: “A massa não

influenciou mas o volume em relação ao ar sim, pois houve atrito com o ar”. Possivelmente o aluno referiu-se ao fato de que a esfera metálica maior “atrasou” após a segunda oscilação.

Esse é mais um motivo pelo qual se deve utilizar esferas de materiais diferentes, mas volumes iguais. O aluno pode interpretar errado e concluir que o atraso na oscilação (período maior) é causado pela massa maior e não pelo volume maior da esfera que terá uma área de contato maior com o ar conseqüentemente maior atrito com o ar.

Outro fato que vale ser salientado é que, dos nove alunos que responderam corretamente à sexta questão, quatro deles erraram a quarta questão afirmando que o tempo de queda sofre influência sim da massa do corpo em queda livre.

A expectativa é que se o aluno compreende que, partindo de uma mesma altura, independentemente da quantidade de matéria que dois corpos em queda livre possuem, a aceleração gravitacional será a mesma para os dois corpos. De forma análoga, o cálculo do valor da gravidade também independe das massas diferentes de corpos que oscilam em pêndulos simples de comprimentos iguais, ou seja, da mesma forma que corpos de massas diferentes que oscilam em um pêndulo simples com mesmos comprimentos possuem períodos iguais e estão sujeitos à mesma aceleração gravitacional, corpos que possuem massas diferentes, em queda livre de uma mesma altura, estão também sujeitos à mesma aceleração gravitacional.

Uma certa confusão pode ocorrer caso a aprendizagem dos conceitos tenha ocorrido de forma mecânica pelos alunos, ou seja, os alunos não conseguiram relacionar, por exemplo, o fator existente em comum entre a queda livre e a oscilação em pêndulos de comprimentos iguais: a aceleração da gravidade é a mesma independente das massas dos corpos.

A sétima questão foi colocada no questionário com o objetivo de tentar constatar se o aluno seria capaz de trabalhar a proporcionalidade existente entre a gravidade e o período de oscilação, segue ela: “Caso o experimento fosse realizado na lua, onde a aceleração gravitacional é menor que a terrestre, o tempo de oscilação (período) do pêndulo simples seria maior, menor ou igual? Justifique sua resposta”.

Novamente, nove dos treze alunos responderam corretamente ao quesito, sendo que sete dos nove que acertaram essa questão também acertaram a questão anterior.

Vale evidenciar erros que possuem inconsistência lógica: “Menor, pois a gravidade sendo baixa, faz com que o pêndulo demore a fazer seu caminho”. Neste caso, apenas a palavra “menor” está empregada errada, a justificativa está correta, porém, “demorar a fazer seu caminho” remete a um período maior e não “menor”.

“O tempo de oscilação seria menor porque a gravidade quando menor “segura” mais o objeto, fazendo com que ele fique mais lento”. Respondendo de forma melhorada: O tempo de oscilação seria maior, porque a gravidade quanto menor “segura” menos o objeto, fazendo com que ele fique menos rápido.

Já a oitava e última questão foi inserida ao questionário com o objetivo de poder relatar aqui como o aluno pensa em relação à atividade experimental. Segue a questão: “Quais as conclusões que você obteve após a realização do experimento?”.

Diante do alto grau de subjetividade da questão, optou-se por expor e comentar as repostas que mais chamaram a atenção:

“Concluí que ao realizar um experimento é necessário pensar em todas as possíveis interferências externas do ambiente atuando sobre o experimento”.

Esse aluno errou apenas as questões 02 e 03, puramente conceituais. Sua conclusão foi relacionada à prática do experimento, não aos conceitos que servem de fundamentos para a compreensão efetiva dos aspectos práticos. Talvez um convívio maior com atividades experimentais permita que este aluno consiga entender que é necessário compreender tais conceitos para que, dessa forma, aprenda significativamente as relações entre as grandezas e os conceitos tratados no experimento.

“Realizar experimentos permite visualizar e entender melhor a teoria”.

Essa conclusão reforça as citações aqui utilizadas, que evidenciam o grau de importância da realização de experimentos que podem propiciar um eficaz processo ensino-aprendizagem.

“Após a realização do experimento, concluí que tudo o que praticamos de forma prática me fez pensar que a física pode ser legal, desde que saiba-se trazer aulas práticas, para que o conteúdo possa se internalizar de uma maneira mais visual e menos teóricas e com textos”.

Tal colocação reafirma algo já exposto aqui: realizar experimentos em sala de aula é uma forma de ensinar Física que propicia uma nova postura do aluno, deixando-o mais participativo e interessado no conteúdo tratado pelo Professor através do experimento.

“Experimento é bom porque dá para visualizar o que ocorre e estamos só na teoria”.

Por fim, essa última conclusão de um aluno justifica a atividade realizada nas aulas, assim como evidencia a necessidade de atividades experimentais neste nível de ensino para não apenas instigá-los a pensar, mas propiciar condições mais favoráveis ao processo ensino-aprendizagem.

4.3 Conclusão da avaliação

Avaliar de forma pontual cada caso parece ser algo mais palpável, visto que cada aluno respondeu seus questionários da sua forma, cada aluno possui seu conhecimento prévio diferente do outro, nenhum pôde vivenciar a realidade do outro e ter os mesmos subsunçores. Dessa forma, por mais que as respostas para as mesmas perguntas fossem parecidas, cada um quis expressar seu entendimento de acordo com a forma com a qual aprendeu um conceito específico, por isso não aparenta ser algo palpável avaliar todos de uma só vez.

O jovem adolescente, personagem alvo do fenômeno educativo, quando é apresentado à Ciência e ao conhecimento científico, tem apenas como bagagem sua concepção de mundo, construída, de modo geral, à sombra dos conhecimentos ditados pelo senso comum. Isto significa que o instrumento processual de seu domínio para elaborar explicações a respeito do mundo físico que o rodeia, se restringe, predominantemente, à experiência livre e especulativa permeada pela tradição sociocultural de seu meio ambiente. (ALVES FILHO, 2000, p.151-152).

Cordeiro (2003, p.196) afirma que “a aprendizagem é um processo do indivíduo, pois cada um tem seus próprios subsunçores. O aluno ancora a aprendizagem de maneira particular, de acordo com suas experiências e relações vivenciadas”.

Por mais que a amostra seja pequena e seja difícil generalizar uma conclusão embasada na quantidade de alunos, foi possível constatar que, com exceção da questão 7, todas as outras questões posteriores à aplicação do experimento foram respondidas satisfatoriamente por uma quantidade maior (igual apenas na questão 3) de alunos que ainda se encontram no ensino médio. Tal fato, aparentemente, está relacionado com a presença do aluno ainda no ambiente escolar e não apenas no curso pré-vestibular. Dessa forma, foi possível concluir que, de forma geral, os alunos que ainda se encontram no ensino médio demonstraram compreender melhor o tema abordado.

Um fato também relevante é que sete dos treze alunos (53,8%) que responderam o questionário afirmaram que a massa interfere no tempo de queda de um corpo. Esse entendimento é semelhante à visão aristotélica sobre o movimento dos corpos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho está fundamentado na teoria cognitivista ausubeliana que possui como conceito central a teoria da aprendizagem significativa: para que o aluno assimile um novo conteúdo de forma significativa, o mesmo deve ser capaz de ligar a nova informação a uma já existente em sua estrutura cognitiva.

Foi aqui exposto que durante as aulas opto por trazer à tona questões do cotidiano do aluno, de preferência questões ambientais que se relacionam com minha formação para permitir que o discente consiga fazer o que Moreira (2014) chama de ancoragem, ou seja, utilizar um subsunçor existente em sua estrutura cognitiva e modificá-lo de forma que o mesmo seja aperfeiçoado e a nova informação não seja assimilada de forma aleatória em sua estrutura cognitiva.

Outro pilar que fundamenta tal trabalho é a abordagem sobre os aspectos físicos da aceleração gravitacional. O fato de levar em consideração os aspectos históricos do desenvolvimento da concepção humana sobre os movimentos dos corpos enaltece uma relação interdisciplinar entre a História e a Física. Desde a antiguidade até a Renascença foi possível constatar informações sobre como os conceitos e teorias científicas desenvolveram-se paralelamente à sociedade na qual o homem se encontrava. O conhecimento da história pode servir como subsunçor para um aluno que não compreende bem conceitos físicos aceitos nos dias atuais, mas que acabaram sendo moldados no decorrer dessa História.

Já foi citado também (Reis e Steffani, 2014), que o ensino de Física possui diversos aspectos negativos por ser ela uma disciplina complicada, com pouca aceitação pelos alunos, que muito reprova, cheia de decorebas, fórmulas, conceitos, etc. A proposta de realização do experimento do pêndulo simples apresenta-se com uma forma de contornar esses empecilhos e viabilizar uma aceitação maior da disciplina pelos alunos.

Uma demonstração que a atividade experimental favorece a compreensão do tema abordado no experimento é a resposta dada por um aluno na oitava questão do questionário posterior ao experimento, que

perguntava quais as conclusões o aluno havia alcançado após o experimento, segue:

“Após a realização do experimento, concluí que tudo o que praticamos de forma prática me fez pensar que a física pode ser legal, desde que saiba-se trazer aulas práticas, para que o conteúdo possa se internalizar de uma maneira mais visual e menos teóricas e com textos”.

Diante dessas constatações, percebo que o ensino da Física deve ser realizado de forma menos formal, mais articulada com a realidade do aluno, afinal, a Física é uma ciência que estuda os fenômenos naturais e todo o meio que envolve o ser humano é composto principalmente por estes fenômenos.

Outro fato constatado é que o aluno não entende que a utilização de equações matemáticas apresenta-se como uma ferramenta à disposição do mesmo para que seja possível quantificar como grandezas físicas se relacionam. Creio que, se ele entendesse tal fato, talvez o ensino da Física não fosse tão desagradável como relatado.

A avaliação dos questionários não permitiu uma conclusão precisa sobre qual o grau médio de compreensão dos conceitos ali tratados, porém uma conclusão superficial obtida foi que o fato de um aluno responder de forma correta uma questão, não significa que ocorreu aprendizagem significativa sobre o conceito, a grandeza ou as relações entre conceitos e grandezas indagadas na questão. O aluno pode estar reproduzindo apenas uma resposta aprendida mecanicamente.

Por exemplo, um dos alunos respondeu satisfatoriamente às três primeiras questões do questionário prévio, entretanto errou grosseiramente a quarta questão ao afirmar que a massa de um corpo interfere sim no seu tempo de queda.

Apesar de conseguir explicar conceitos, sua visão sobre o movimento dos corpos apresenta-se como uma visão iluminada sob a concepção aristotélica. Dessa forma, foi possível constatar que a concepção aristotélica sobre o movimento dos corpos ainda é vivenciada por alguns dos alunos que responderam os questionários.

Diante dos fatos constatados, pressupõe-se que, caso o Professor de Física utilize o produto educacional gerado com base na fundamentação teórica do presente trabalho, o mesmo possuirá condições de viabilizar ao

aluno a aprendizagem significativa do conceito de aceleração gravitacional bem como de grandezas que se relacionam com a mesma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. F. A inserção de atividades experimentais no ensino de Física em nível médio: em busca de melhores resultados de aprendizagem. Brasília, 2006. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em ensino de ciências. Universidade de Brasília.

ALVES, V. C.; STACHAK, M. A importância de aulas experimentais no processo ensino-aprendizagem em Física: “eletricidade”. **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro. 2005.

ALVES FILHO, J. de P. Atividades experimentais: do método à prática construtivista. Florianópolis, 2000. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em educação. Universidade Federal de Santa Catarina.

ARNOLD, F. J.; RANGEL, A.; BRAVO-ROGER, L. L.; GONÇALVES, M. S.; OLIVEIRA, M. J. G. de. Estudo do amortecimento do pêndulo simples: uma proposta para aplicação em laboratório de ensino. 2011. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, V. 33, N. 4.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. Psicologia Educacional: uma visão cognitiva. New York. Holt Rinehart and Winston. 1978.

BOMFIM, E. P.; MOLINA, E. C. Análise da variação dos elementos do campo de gravidade na região do Aquífero Guarani a partir dos dados GRACE. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, Vol. 27, N. 1, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2009000100002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 25 mai 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais. Parte III - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília. 2002.

BRASIL. Política Nacional de Meio Ambiente. Lei N^o 6.938, de 31 de agosto de 1981.

CARVALHO, M. S.; TRAVASSOS, C.; COELI, C. M.. Contra a cultura do corta & cola. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, Vol. 30, N. 5, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2014000500905&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 11 jan 2015.

CARVALHO, W. L. P. Conceitos intuitivos: relações entre força, velocidade, aceleração e trajetória. São Paulo, 1985. Dissertação de mestrado. Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

CHERMAN, A. e MENDONÇA, B. R. Por quê as coisas caem?. Zahar. Rio de Janeiro, 2010.

COHEN, I. B. O. O nascimento de uma nova física. Lisboa. Gradiva, 1988.

CORDEIRO, L. F. É significativa a aprendizagem escolar do conceito físico de aceleração no primeiro ano do ensino médio?. Curitiba, 2003. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Paraná.

DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S.; SOUZA, M. T. M. de. A Gravitação Universal: um texto para o Ensino Médio. 2004. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Vol. 26, N. 3. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172004000300012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13 Jun 2015.

DUARTE, S. E. Física para o ensino médio usando simulações e experimentos de baixo custo: um exemplo abordando dinâmica da rotação. Rio de Janeiro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Vol. 29. N. Especial 1. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp1p525>> Acesso em 13 Jun 2015.

FEIX, E. C.; SARAIVA, S. B.; KIPPER, L. M. A importância da física experimental no processo ensino aprendizagem. Santa Cruz do Sul. **III Salão de ensino e extensão**. Universidade de Santa Cruz do Sul. 2012. Disponível em: <http://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/salao_ensino_extensao/article/view/10269/97>. Acesso em 15 abr 2015.

FERREIRA, F. J. F. Método gravimétrico. 2011. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2012/03/Grav_Teoria.pdf> Acesso em 30 mai 2016.

GANGOSO, Z. El fracaso en los cursos de física. El mapa conceptual, una alternativa para el análisis. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Vol.14, N.1. 1997.

GARCÍA, C. M. Formação de professores: para uma mudança educativa. Porto. Porto. 1999.

HILL, W. F. Aprendizagem – Um balanço das interpretações psicológicas. New York. Harper Collins Publishers. 1990.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. de S. Dicionário Houaiss da língua portuguesa. Rio de Janeiro. Objetiva. 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Glossário cartográfico. 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/glossario/glossario_cartografico.shtm>. Acesso em 17 abr 2015.

KOYRÉ, A. Estudos de história do pensamento científico. Rio de Janeiro. Forense-Universitária, 1982.

LIMA, S. M. de. Aprender para ensinar, ensinar para aprender: aprende-se a ensinar no curso de pedagogia? Cuiabá. Central de Texto EdUFMT. 2007.

LOPES, W. Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude. **Caderno**

Brasileiro de Ensino de Física, Vol. 25, N. 3, 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/21757941.2008v25n3p561/8450>>. Acesso em 13 jun 2015.

MOREIRA, M. A. Teorias de aprendizagem. São Paulo. EPU. 2014.

MOREIRA, M. A. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. 2012. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em 06 abr 2015.

MOREIRA, M. A., BUCHWEITZ, B. Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico. Lisboa, Plátano Edições Técnicas. 1993.

MOREIRA, M. A., MASINI, E. F. S. Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo. Centauro, 2001.

MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C.; RODRIGUEZ, M. L. **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo**. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. Burgos. 1997. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>>. Acesso em 03 abr 2015.

NEVES, M. C. D. De experimentos, paradigmas e diversidades de ensino de Física: construindo alternativas. Maringá: Massoni, 2005.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de física básica: mecânica. Vol 1. 4ª Edição. São Paulo. Blucher, 2002.

PORTO, C. M. A física de Aristóteles: uma construção ingênua?. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Vol. 31, N. 4. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172009000400019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 05 out 2015.

REIS, C. L. dos; STEFFANI, M. H. Pequenos projetos de física no ensino não formal. **Textos de apoio ao professor de física**. Vol. 25 N. 6. Porto Alegre. UFRGS, 2014.

REIS, N. T. O.; GARCIA, N. M. D.; SOUZA, P. N. de; BALDESSAR, P.S. Análise da dinâmica de rotação de um satélite artificial: uma oficina pedagógica em educação espacial. **Revista Brasileira de Ensino Física**, São Paulo, Vol. 30, N. 1, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172008000100011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 Jun 2015.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K. S. Física. Vol. 2. LTC. 5ª Edição. Rio de Janeiro, 2007.

RESQUETTI, S. O.; NEVES, D. Galileu e sua obra no ensino de Física hoje. Eduem. Maringá, 2011.

SANTIAGO, B. **Apostila de astronomia geodésica**: Fundamentos de Geodésia. 2015. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/textos/lecture3.htm>>. Acesso em 14 fev 2015.

_____.SARAUXYZ, Jaguar. 2015. Disponível em: <<http://sarauxyz.blogspot.com.br/2015/09/jaguar.html?view=snapshot&m=1>> Acesso em 13 abr 2015.

SBF. Regimento do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF. 2014. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/images/stories/MNPEF/Regimento_MNPEF.pdf>. Acesso em 03 abr 2015.

SBF. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. 2015. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf>. Acesso em 05 mai 2015.

SERWAY, R. A. e JEWETT Jr, J. W. Princípios da física. Cengage Learning. São Paulo, 2014.

SILVEIRA, F. L. Da. O formato da Terra. 2014. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=828>>. Acesso em 17 mar 2015.

SOARES, D. S. L. Sobre o valor da aceleração da gravidade medido no Departamento de Física. 2011. Disponível em: <<http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/g/g.htm>>. Acesso em 07 jun 2015.

THOMAZ, M. F. A experimentação e a formação de professores de ciências: uma reflexão. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Vol. 17. N. 3. 2000.

ZYLBERSTAJN, A. A evolução das concepções sobre força e movimento. Florianópolis. 2006.

APÊNDICE

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

ANDRÉ DA COSTA MARTINS

TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA:
**ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL: UMA PROPOSTA DE
ABORDAGEM COM OBJETIVO DE VIABILIZAR SUA
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA¹**

Texto de apoio orientado pelo Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

MARINGÁ – 2016

¹ Este texto é parte integrante da dissertação de mestrado de André da Costa Martins

APRESENTAÇÃO

O presente produto educacional apresenta-se como uma ferramenta, a disposição do Professor de Física e áreas afins, para que o mesmo possa lecionar sobre questões relativas à aceleração gravitacional. Aspectos históricos sobre o movimento dos corpos, a variação, seu cálculo por meio da utilização de equações, bem como a realização de experimento do pêndulo simples, são apresentados com o objetivo de viabilizar a aprendizagem significativa destas questões aqui tratadas.

A utilização deste material serve como uma forma de propiciar condições para que o aluno vivencie, na prática, um experimento teoricamente simples, entretanto, rico em informações que pode favorecer o desenvolvimento da capacidade cognitiva do aluno.

A elaboração do presente produto foi baseada nas aulas teóricas e experimentais, realizadas com alunos em fase pré-vestibular, quando foi possível constatar questões relevantes relacionadas ao tema que servem de exemplo para que o Professor possa trabalhar o tema aqui proposto de forma menos rígida com a finalidade de favorecer a aprendizagem do aluno.

Além das questões históricas e teóricas sobre a aceleração gravitacional, o presente material é composto por roteiro para realização do experimento do pêndulo simples, questionários que podem ser aplicados previamente e posteriormente ao experimento, mapas conceituais que evidenciam relações entre conceitos e grandezas físicas, ilustrações em forma de quadrinhos e sugestões de aspectos relacionados à aceleração gravitacional que podem ser abordados pelo Professor tanto na realização do experimento como em aulas teóricas sobre a aceleração gravitacional.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
1. ASPECTOS HISTÓRICOS	3
1.1 A antiguidade.....	3
1.2 O período medieval.....	6
1.3 Sobre os ombros de gigantes.....	9
2. ASPECTOS FÍSICOS	12
2.1 A apreciação da gravidade.....	12
2.2 A aceleração gravitacional, suas aproximações e unidades.....	12
2.3 A variação de acordo com a altura em relação à superfície terrestre.....	14
2.4 A forma da Terra e interferências no valor da gravidade.....	16
2.5 O cálculo do valor da aceleração gravitacional.....	17
3. ROTEIRO EXPERIMENTAL	21
4. QUESTIONÁRIOS	23
4.1 Questionário prévio.....	24
4.2 Questionário posterior.....	24
5. MAPAS CONCEITUAIS	25
6. ILUSTRAÇÕES EM FORMA DE QUADRINHOS	28
7. SÍNTESE FINAL	34
8. REFERÊNCIAS	34

1. ASPECTOS HISTÓRICOS

A concepção histórica não apenas do tema em questão, mas da Ciência, representa, segundo Resquetti e Neves (2011), papel fundamental para a compreensão conceitual da ciência moderna, ao fornecer informações a respeito do *status* dos conceitos e teorias científicas desenvolvidos em vários momentos da história. Conhecendo as dificuldades encontradas pelos homens da ciência para elaborar a teoria do movimento dos corpos, podemos compreender as dificuldades que ainda hoje encontramos no ensino-aprendizagem desse tema. Desta forma, é essencial destacar aspectos importantes dos estudos realizados acerca dos movimentos desde a antiguidade com Aristóteles, passando pelo Renascimento com Leonardo da Vinci e Galileu até chegar em Newton, no século XVII.

1.1 A antiguidade

Partindo da antiguidade, Cherman e Mendonça (2010) afirmam que Aristóteles de Estagira (384 a.C – 322 a.C) pode ser considerado um dos pilares da história da gravidade, pois apesar de seu trabalho não representar a realidade atual, o conhecimento nele difundido perdurou por muitos séculos após a sua morte.

Cohen (1988) citado por Resquetti e Neves (2011, p. 22) afirma que “a física aristotélica é denominada, frequentemente, como a ‘Física do senso comum’”. Aristóteles, sem a aplicação de medidas e interpretações matemáticas, construiu um modelo de mundo analisando naturalmente o que se passava em seu cotidiano.

Ainda Resquetti e Neves (2011) expõem que na visão aristotélica, em todo movimento, há dois fatores principais: a força motriz (F) e a força de resistência (R). Sendo que somente ocorre movimento quando a força motriz é maior que a de resistência, ou seja:

$$F > R .$$

Ao utilizar meios diferentes como ar, água, álcool, óleo, entre outros, é possível observar que a velocidade de queda de um corpo de massa m a uma mesma altura, nos diferentes meios, não é a mesma. Quanto maior a resistência, menor a velocidade, ou seja, a velocidade do corpo é inversamente proporcional à resistência:

$$v \propto 1/R .$$

Em um mesmo local, ao utilizar outro corpo de massa maior M , a força peso atuante sobre ele é maior que a força peso atuante no corpo de massa m . E, ao realizar o experimento anterior, é possível observar que quanto maior a força atuante no corpo, maior a velocidade com que o corpo termina seu movimento, ou seja:

$$v \propto F .$$

Combinadas as duas equações anteriores temos:

$$v \propto F/R ,$$

ou seja, a velocidade de um corpo é proporcional à força motriz e inversamente proporcional à resistência do meio.

Resquetti e Neves (2011) evidenciam que a expressão anterior é conhecida como a lei aristotélica do movimento, mesmo que Aristóteles não tenha escrito suas conclusões na forma de expressões matemáticas, a referida expressão traduz o pensamento do mesmo sobre o movimento.

Analisando as expressões matemáticas apresentadas e seus significados, segundo Aristóteles, para haver movimento, a força motriz deve ser maior do que a de resistência ($F > R$). Segundo o pensamento aristotélico, se a força motriz é igual à força de resistência ($F = R$), não há movimento, ou seja a velocidade é nula. Entretanto, a expressão que relaciona a velocidade, força motriz e força de resistência ($v \propto F/R$) evidencia que se as forças são iguais, o valor da velocidade será diferente de zero, ou seja, há movimento sim. O mesmo acontece para quando a força de resistência é maior que a força motriz ($F < R$), visto que a razão entre as duas referidas forças não será zero.

Embasados nessa explanação, Resquetti e Neves (2011) afirmam que a lei aristotélica não é uma afirmação universal das condições do movimento.

Neves (2005) evidencia que a dinâmica aristotélica mostra a impossibilidade do movimento no vácuo, pois não haveria resistência do meio e, neste caso, a velocidade de deslocamento do corpo que possui uma força atuante sobre si seria infinita.

É interessante ressaltar que, como afirmam Dias *et alli* (2004), para Aristóteles, o universo não apresentava espaços vazios, pois o pensador acreditava que o que seria possível de existir, seria a matéria, e a ideia de vácuo seria a aceitação de que algo é composto de nada.

Ainda Dias *et alli* (2004) enfatizam a visão aristotélica sobre a questão:

Como a resistência no espaço vazio é zero, a velocidade de qualquer corpo no vácuo seria infinita e um corpo cairia instantaneamente, em contradição com o fato de que corpos mais pesados caem mais rapidamente. A fórmula parece levar a um absurdo, a menos que se negue a existência do vácuo, em cujo caso o raciocínio não se aplicaria (DIAS *et alli*, 2004, p.259).

“Assim, esta afirmação da inexistência do vazio ganhou status de princípio, chamado de "horror do vácuo": a Natureza sempre agia no sentido de evitar a formação de vácuo” (PORTO, 2009, p.4).

Aparentemente, a concepção aristotélica parece explicar razoavelmente alguns acontecimentos do cotidiano, e por isso ainda perdura nos dias de hoje, fora da academia, de forma semelhante ao senso comum no que se diz respeito ao movimento. Atualmente, segundo Resquetti e Neves (2011), alguém sem conhecimento científico é guiado normalmente pela intuição e essa concepção pouco crítica é resultado da tradição de uma determinada época, local ou grupo social.

É comum, ainda hoje, encontrarmos pessoas que apresentam noções a respeito do movimento semelhantes às concepções propostas por Aristóteles. São incapazes de explicar fenômenos físicos que ocorrem no dia a dia segundo uma descrição galileano-newtoniana. “Em particular, esse mal

entendido da Física tende a centralizar-se no problema da queda dos corpos, no conceito geral do movimento” (COHEN, 1988 *apud* RESQUETTI e NEVES, 2011, p.28).

Apesar de ter sido considerada como válida por muito tempo, a física aristotélica do movimento dos corpos sofreu objeções que acabaram moldando tal teoria através dos trabalhos e estudos de críticos e seguidores de Aristóteles, tanto ainda na antiguidade como também no período medieval.

Ainda Resquetti e Neves (2011) afirmam que a teoria do *impetus*, introduzida por Hiparco (190 a.C – 120 a.C) e reinventada por Johannes Philoponus (490 – 570), ambos críticos de Aristóteles, bem como discussões e traduções de manuscritos gregos acerca da natureza dos movimentos, realizadas entre os séculos X e XII por filósofos islâmicos, mantiveram o chama acesa da questão sobre o movimento de corpos.

Com relação às referidas traduções ocorridas devido à expansão do império muçulmano através da Europa até a Península Ibérica, o mundo ocidental passou a ter acesso às discussões sobre o tema, fato este que acabou influenciando na criação de universidades como afirma Zylberstajn *apud* Resquetti e Neves (2011):

O estudo desses textos [...] deu origem à tradição escolástica com análise argumentativa, como também levou à criação das primeiras universidades europeias, destacando-se a de Bolonha, a de Oxford e a de Paris. No século XIV, no *Merton College*, em Oxford, desenvolveram-se com bastante clareza os conceitos de movimento uniforme e uniformemente acelerado. Estabeleceu-se, ainda, a “Regra do Valor Médio”, a qual equipara a distância percorrida por um corpo que se desloca com aceleração constante à distância percorrida em movimento uniforme, cuja velocidade é igual à média entre as velocidades inicial e final do movimento acelerado. O autor ainda sustenta que Galileu Galilei usou essa regra ao analisar a queda dos corpos e comenta que hoje há poucas dúvidas de que a teoria do *impetus* tenha influenciado Galileu, no início da sua carreira (ZYLBERSTAJN, 2006 *apud* RESQUETTI e NEVES, 2011, p. 30).

1.2 O período medieval

Com o início de uma nova era durante a segunda metade do século XV,

o Renascimento, surge um novo mundo, um mundo onde não havia fronteiras entre arte e ciência, um mundo onde a ciência e a tecnologia encontravam-se em pleno desenvolvimento e, conseqüentemente, artistas e cientistas são estimulados por tal desenvolvimento decorrido nessa nova era, nesse novo mundo que passava por rápidas transformações.

Koyré (1982) afirma que, ao lado de Michelangelo (1475 – 1564), Leonardo da Vinci (1452 – 1519) foi um dos maiores nomes da Renascença e que o próprio vivenciou não somente a teoria pura, mas também a *práxis*.

Da Vinci, como ainda era comum naquele tempo, foi bastante influenciado pela física aristotélica em seus argumentos. Mas também vislumbrou novas possibilidades em relação à questão do movimento dos corpos. Ele defendia que o calor e o frio causariam o movimento dos elementos, e como acreditava que todo calor do Universo era produzido pelo Sol, tal movimento seria, portanto, derivado deste astro. Mas Da Vinci não descartou o peso e a leveza. De fato, ele afirmou que ambos seriam produzidos assim que os elementos iniciassem seu movimento (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 70-71).

Dessa ideia bastante estranha vem a definição de gravidade proposta por Da Vinci. Para ele, “a gravidade é poder acidental, criado por movimento e infundido nos corpos que sobressaem de sua posição natural”. O mais curioso, porém, é a relação construída pelo pensador entre peso e gravidade com o que ele chama de “força” (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 71).

Resquetti e Neves (2011) evidenciam que Leonardo não compartilhou os estudos que desenvolveu com seus contemporâneos e, por isso, as questões científicas por ele trabalhadas permaneceram inéditas.

Ainda na Renascença, surge um pensador que serviria de marco na história da ciência: Galileu Galilei (1564 – 1642). Nascido na cidade de Pisa, na Itália, mesmo tendo iniciado estudos na Faculdade de Medicina de Pisa, Galileu foi atraído pelas linhas euclidiana e arquimediana de estudo e acaba abandonando a faculdade para iniciar suas primeiras investigações científicas na área da matemática no ano de 1585, como evidenciam Resquetti e Neves (2011).

Em 1592, com a segunda nomeação para a cátedra de

Matemática em Pisa, começa o trabalho científico profissional de Galileu. De 1592 a 1610, ele desenvolve estudos ligados à criação de uma ciência geométrica do movimento. Entre 1610 e 1633, pelas observações obtidas pelo uso do telescópio, trava uma dura batalha em defesa da teoria heliocêntrica do universo. A partir de 1633, confinado em prisão domiciliar, retoma os trabalhos sobre os movimentos e compõe os *Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências*, morrendo em 1642 (RESQUETTI e NEVES, 2011, p.39).

Resquetti e Neves (2011) afirmam também que a obra *Dois novas ciências* é a última e a mais importante obra de Galileu, nela Galileu cita uma série de experimentos, de forma dialógica entre três personagens, para apresentar os principais pontos de discordância entre suas conclusões e a Física aristotélica tradicional, apontando graves objeções à velha teoria, uma delas seria a recusa de Aristóteles sobre a existência do vácuo.

Por meio de diversos experimentos, Galileu conseguiu demonstrar que a velocidade que um corpo adquire ao cair não depende de seu peso. O caso da queda de corpos de massas diferentes serviu como exemplo citado por Resquetti e Neves (2011) como segue:

Supõe a queda de dois objetos com pesos diferente. O mais pesado, por exemplo, o corpo A, de acordo com Aristóteles, é mais veloz do que o corpo B, mais leve. Galileu propõe unir os dois corpos. Nesse caso, segundo a lógica aristotélica, o mais lento retardaria o mais rápido e, este último aumentaria a velocidade do mais lento. Então, a velocidade resultante do conjunto deveria ter um valor intermediário, menor do que a velocidade de A e maior do que a velocidade de B. Contudo, Galileu argumenta que o conjunto obtido da união dos dois corpos forma um corpo maior, mais pesado, e, segundo a velha Física, deveria se mover mais velozmente, uma vez que o corpo de maior peso atinge maior velocidade. Está estabelecida uma inconsistência lógica (RESQUETTI e NEVES, 2011, p. 44).

Cherman e Mendonça (2010) afirmam que há muitas lendas associadas ao nome de Galileu. Em uma delas, ele teria descoberto o que hoje se conhece como isocronismo dos pêndulos, observando a oscilação dos lustres no interior da Catedral de Pisa. Segundo contam, Galileu aferiu o período das oscilações

daquele pêndulo por meio de sua pulsação, e com isso teria concluído que mesmo quando a amplitude diminuía, os intervalos de tempo das oscilações permaneciam iguais.

Outra história comumente contada dessa época é que ele teria feito experiências com corpos em queda do alto da Torre de Pisa, a fim de averiguar o comportamento desses corpos ao atingir o solo. Os mesmos Cherman e Mendonça (2010) citam que diversos autores creditam a adição dessa passagem à biografia de Galileu a seu aluno Vincenzo Viviani.

No início do século XVII, [Galileu] passou a se dedicar intensamente ao estudo do movimento dos corpos. Em 1602, Galileu trocou algumas cartas cujos conteúdos traziam informações sobre um potencial objeto de estudo: o pêndulo. Se a história da Catedral de Pisa é real ou não, já não importa mais, pois nessa época ele incontestavelmente analisou o movimento pendular como nenhum outro havia feito antes dele. E é provável que desse estudo tenha surgido a ideia de voltar suas atenções para o movimento dos corpos em queda livre, visto que os pêndulos apresentavam uma peculiaridade que poderia mostrar uma falha na física aristotélica: seu movimento independe da massa (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 96).

1.3 Sobre os ombros de gigantes

No século XVII a humanidade possuía conhecimentos sobre movimentos dos planetas e da lua, porém um entendimento quantificado das forças envolvidas não era atingível como afirmam Serway e Jewett Jr. (2014). Os mesmos autores citam que Isaac Newton (1643 – 1727) desvendou os céus partindo do princípio de que havia uma força resultante atuando sobre a lua, caso não houvesse, a lua se moveria em trajetória de linha reta e não em órbita quase circular.

As ideias organizadas e apresentadas por Isaac Newton, pai da física moderna, em *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, considerado por Cherman e Mendonça (2010) como a obra mais importante de todos os tempos, publicada em 1687, deram origem à Lei da Gravitação Universal, pois seriam elas aplicadas a quaisquer corpos no universo e, reza a lenda que o

mesmo chegou a tais conclusões após a queda de uma maçã em sua cabeça.

O que se sabe com maior precisão é que, segundo Cherman e Mendonça, Newton, aos 18 anos, foi admitido no prestigioso Trinity College, em Cambridge e que, na universidade, estudou o mundo aristotélico mas também travou contato com as ideias revolucionárias surgidas no continente europeu.

Por conta da peste, Newton deixou para trás o Trinity College com um diploma debaixo do braço e nada que o distinguisse de seus colegas de turma. Mas a atenção dedicada às novidades pensadas por Copérnico, Kepler e Galileu não seria em vão, e assim que se viu livre para ter suas próprias ideias, Newton desabrochou como o grande gênio que era (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 113).

Em seu exílio acadêmico, Newton criou um novo ramo da matemática (o cálculo infinitesimal, conhecido popularmente hoje como cálculo integral e diferencial), fez importantes descobertas no ramo da óptica (por exemplo, a decomposição da luz branca em diferentes cores) e da mecânica (suas três leis do movimento) e, sobretudo, começou a entender o mecanismo que mantinha os planetas em suas órbitas: a gravidade (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 113).

Newton propôs que forças envolvidas em um sistema de atração não era algo especial a sistemas celestiais/planetários, mas casos particulares de uma atração geral e universal entre corpos detentores de massa. Diante da noção de que toda partícula no universo atrai outra partícula com uma força que é diretamente proporcional às massas das partículas envolvidas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as mesmas, a referida força, em módulo, pode ser expressa por:

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2},$$

sendo que G é a constante gravitacional universal e seu valor, no Sistema Internacional de Unidades – SI é $6,674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$, r é a distância entre as partículas de massas m_1 e m_2 .

Vale a pena ressaltar que, como evidenciam Cherman e Mendonça (2010), a equação apresentada anteriormente jamais foi escrita por Newton, entretanto, os mesmo autores expõem que na obra de Newton, o mesmo afirmou de forma literal que a gravidade existe em todos os corpos universalmente e é proporcional à quantidade de matéria em cada um deles, bem como a força gravitacional relacionada a aceleração gravitacional é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os dois corpos em questão.

Serway e Jewett Jr. (2014) evidenciam que Newton, ao publicar pela primeira vez sua teoria da gravitação, obteve rejeição de seus contemporâneos que achavam difícil aceitar o conceito de uma força que um corpo pode exercer sobre o outro sem nada estar acontecendo no espaço entre eles. A dúvida que pairava sobre suas cabeças era como ser possível que dois corpos com massa interagissem, mesmo que não estivessem em contato.

Apesar de não saber o porquê para sanar essa questão, sua teoria foi de grande valia, por explicar satisfatoriamente o movimento dos astros perceptíveis.

Desde as concepções bastante filosóficas de Aristóteles, passando por diversos pensadores medievais veementemente repreendidos pela Igreja, até chegar em Newton, um fato foi comum: todos os pensadores aqui citados possuíam o interesse em desvendar o porquê dos movimentos naturais, quais eram as leis que os regiam, fosse a queda de pedras e penas ou os movimentos aparentes de corpos fora da Terra.

De fato, Newton possuía informações acumuladas por mais de dois séculos e, sem elas, talvez não chegasse às conclusões que obteve. Diante dos fatos constatados, não é difícil concordar que a célebre citação atribuída a Newton "*Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes*" é de autoria do gênio. Tal afirmação expõe a importância que a produção coletiva do conhecimento tem para o avanço da ciência como afirmam Carvalho, Travassos e Coeli (2014).

Hoje, de forma simples e resumida, a força gravitacional pode ser compreendida mentalmente através da percepção de que a interação

gravitacional é um processo de duas etapas que envolvem um campo que age à distância. Por possuir massa, um corpo cria um campo gravitacional em todo o espaço ao seu redor.

2. ASPECTOS FÍSICOS

2.1 A apreciação da gravidade

A apreciação da força da gravidade é diária, é ela que nos mantém presos ao planeta Terra, com “os pés no chão” por mais que estejamos no polo sul “de cabeça para baixo”, por exemplo. Isto viabiliza a percepção de que a força gravitacional é uma força atrativa e não repulsiva, é algo que está relacionado com a existência de dois corpos detentores de massa (eu e o planeta Terra), age de acordo com a distância entre os corpos envolvidos até mesmo sem contato, possui sempre direção vertical e aponta para o centro dos corpos.

Ao soltar qualquer corpo detentor de massa na superfície terrestre, o mesmo é atraído pela Terra e cai em “queda livre”. Ao enunciarmos o termo “livre” transmite-se a ideia de que não há forças atuando na massa que se encontra em queda, entretanto existe a atuação da força gravitacional que a faz cair ao nível do solo e que existe devido o corpo possuir massa. O fato de possuir massa torna o corpo “escravo” da tendência à queda “livre”.

2.2 A aceleração gravitacional, suas aproximações e unidades

Com o intuito de facilitar a sua compreensão, a aceleração gravitacional é comumente taxada por Professores de constante e, indo mais além, aproximada para o valor de 10m/s^2 . Antes da infame generalização de seu valor, para a compreensão do que é a aceleração gravitacional, faz necessário um conhecimento prévio do que é essencialmente a aceleração.

A simplicidade de uma resposta como “é a variação da velocidade em função do tempo” não satisfaz, por exemplo, um indivíduo que não discerne sobre o que significa a expressão “em função”. Matematicamente, a aceleração pode ser entendida, em termos, como a divisão entre a diferença de velocidade de um móvel e o tempo gasto entre a referida variação de velocidade. Ou seja:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t},$$

sendo que a é a aceleração, Δv é a diferença entre as velocidades final e inicial do móvel no intervalo de tempo Δt gasto durante a variação da velocidade.

A força gravitacional atuante no campo gravitacional terrestre chama-se força peso. Com direção vertical e com sentido ao centro da Terra, a força peso é descrita, em módulo, por:

$$P = mg,$$

sendo que m é sua massa e g é a aceleração gravitacional terrestre.

A aceleração gravitacional terrestre é capaz de evidenciar o quanto um corpo, de massa m_1 , pode ter sua velocidade variada devido certa proximidade da Terra de massa m_2 . Considerando um corpo em equilíbrio na superfície terrestre, em módulo, o seu peso será igual à força gravitacional, ou seja:

$$P = F_g .$$

Então podemos afirmar que:

$$m_1 g = \frac{G m_1 m_2}{r^2},$$

logo, temos que:

$$g = \frac{G m_2}{r^2} .$$

Por meio da equação anterior, para definirmos o valor da aceleração que um corpo em queda livre está sujeito na superfície terrestre, não é necessário conhecermos sua massa, mas necessitamos de dados como a massa do planeta Terra ($m_2 = 5,972 \times 10^{24} \text{ kg}$), o raio médio da Terra ($r = 6,371 \times 10^6 \text{ m}$) e a constante de gravitação universal.

Com base nesses valores apresentados, o valor encontrado da gravidade é de $9,819 \text{ m/s}^2$. Vale ressaltar que esse valor é obtido utilizando valores aproximados tanto da massa quanto do raio da Terra, dessa forma, o valor da gravidade encontrado é também, aproximadamente, uma média da aceleração gravitacional na superfície terrestre.

É comum encontrarmos referências que citam apenas a unidade de aceleração m/s^2 , no Sistema Internacional de Unidades. Entretanto, geofísicos utilizam a unidade Gal (em homenagem a Galileu) em que 1 Gal é igual à 1 cm/s^2 que também é igual à $0,01 \text{ m/s}^2$.

A utilização da unidade Gal para cálculo da aceleração pode servir como uma forma de melhor expressar a ideia da grandeza. Pois, devido da relação entre m/s^2 e Gal ser de 1 para 100, ou seja, $9,78 \text{ m/s}^2$ correspondem a 978 Gals, trabalhar com Gals é trabalhar com números maiores, que podem ilustrar variações também inteiras e assim apresentar algo mais palpável para o aluno, por não se tratar apenas de partes decimais.

2.3 A variação de acordo com a altura em relação à superfície terrestre

Não estando na superfície terrestre, mas sim a uma altura h da superfície, o módulo do valor de g passa a depender de uma nova distância que é definida pela soma entre r e h , ou seja:

$$g = \frac{Gm_2}{(r + h)^2}.$$

A Tabela 1 a seguir mostra o quanto o módulo da aceleração gravitacional diminui devido o aumento da distância entre o centro da Terra e um corpo em questão.

Altura h (em metros)	Gravidade g (em Gals)	Gravidade g (em m/s ²)
0	981,9	9,819
1.000	981,6	9,816
10.000	978,8	9,788
100.000	951,8	9,518
1.000.000	733,5	7,335
2.000.000	568,7	5,687
3.000.000	453,8	4,538
4.000.000	370,5	3,705
5.000.000	308,2	3,082
6.000.000	260,4	2,604
7.000.000	222,9	2,229
8.000.000	192,9	1,929
9.000.000	168,6	1,686
10.000.000	148,7	1,487
15.000.000	87,26	0,872
20.000.000	57,31	0,573

Tabela 1 – Relação entre a gravidade terrestre g e a altura h

Com base na tabela anterior é notável que a relação entre distância e gravidade é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior for a distância entre um corpo e o planeta Terra, menor será o campo gravitacional terrestre

atuante no corpo em questão. A Figura 1 a seguir evidencia a relação inversamente proporcional entre g e h .

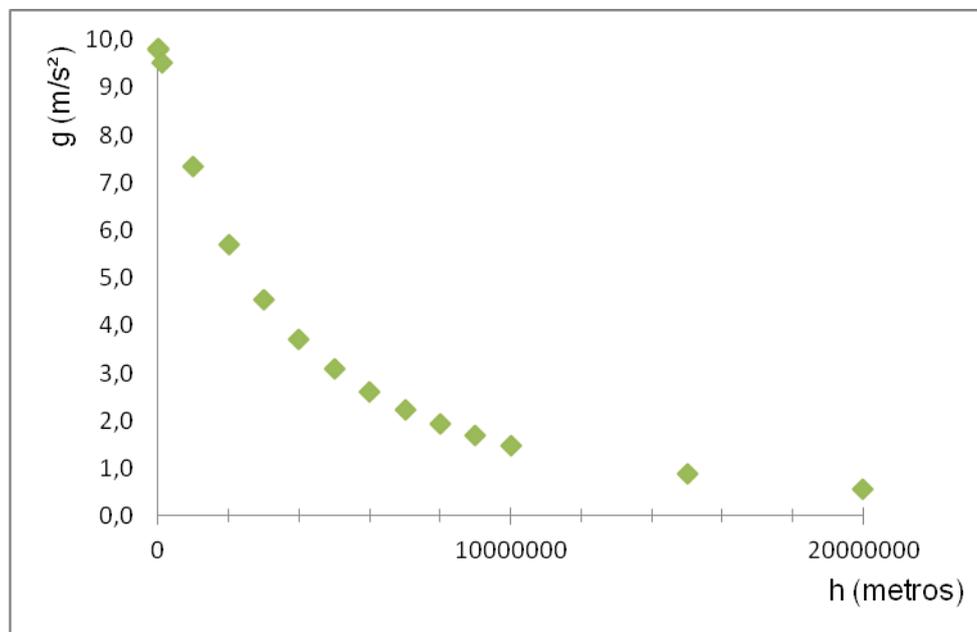


Figura 1 – Relação inversamente proporcional entre g e h

Reis *et alli* (2008) citam que satélites que apresentam um plano de órbita com inclinação próxima a do equador terrestre são os chamados satélites de órbita equatorial e os mesmos situam-se em torno de 36.000 Km de altitude. Evidenciam também que, satélites de órbita polar, aqueles que possuem órbita orientada perpendicularmente ao equador terrestre, passam pelos polos terrestres e situam-se a altitudes entre 700 Km e 1000 Km.

2.4 A forma da Terra e interferências no valor da gravidade

A superfície terrestre não é homogênea em toda sua extensão. Tanto elevações como depressões do relevo conferem à superfície variações de altura com relação ao nível do mar. Além disso, a forma tridimensional e aproximada da superfície terrestre é de um geóide.

Silveira (2014) trata do assunto afirmando que:

O geóide é uma figura geométrica que representa a forma da Terra aproximadamente. Na verdade é a forma de uma superfície equipotencial gravitacional que coincide, em média, com o nível dos mares. Assim sendo o geóide não descreve em detalhes a superfície real da Terra pois as montanhas e as depressões abaixo do nível médio dos mares não estão contempladas no geóide (SILVEIRA, 2014).

Consta no glossário cartográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE que geóide é:

Figura definida como a superfície eqüipotencial do campo de gravidade da Terra que melhor se aproxima do nível médio dos mares, supostos homogêneos e em repouso. Embora melhor descreva a forma física da Terra, o geóide se caracteriza por grande complexidade em função da distribuição irregular de massas no interior da Terra e, conseqüentemente, por difícil representação matemática, o que leva à adoção do elipsóide como forma matemática da Terra, devido à simplificação decorrente de seu uso (IBGE, 2015).

O fato da Terra não ser homogênea interfere no cálculo do valor da aceleração da gravidade em um ponto de latitude em questão. Desconsiderando variações de altura em relação ao nível do mar, devido o achatamento dos polos, há variação do raio da Terra desde um polo até a seção equatorial. A distância entre a superfície e o centro do planeta aumenta, fato este que concebe valor da aceleração gravitacional maior nos polos e menor sobre a linha do equador.

2.5 O cálculo do valor da aceleração gravitacional

Há algumas expressões que têm sido utilizadas para descrever matematicamente o módulo da aceleração da gravidade em função da latitude na superfície terrestre. Uma delas é a expressão conhecida como a Fórmula Internacional da Gravidade de 1967 que Ferreira (2011) expressa por:

$$g = 9,7803185(1 + 0,0053024 \text{ sen}^2 \varphi - 0,0000059 \text{ sen}^2 2\varphi).$$

Os valores da gravidade para cada ponto de latitude φ , calculados com a referida fórmula, chamam-se valores teóricos ou normais da gravidade para pontos sobre a superfície da Terra ao nível da mesma.

A utilização da Fórmula Internacional da Gravidade serve como um exemplo em que o aluno pode vislumbrar uma forma de aplicação dos conhecimentos adquiridos em trigonometria.

É interessante ressaltar que, desde o século passado a humanidade vem desenvolvendo fórmulas cada vez mais precisas para a determinação do valor da gravidade em função da latitude. Em 1980, por exemplo, a Associação Internacional de Geodésia adotou uma nova fórmula que possui precisão de $0,1 \mu\text{Gal}$, já a fórmula internacional do Sistema Geodésico de Referência, de 1967, possui precisão de $4 \mu\text{Gals}$.

Além da utilização de Fórmulas Internacionais da Gravidade, que geram valores de g em função da latitude, há um método para realizar o cálculo do valor da aceleração gravitacional, de forma mais simplificada, porém menos precisa: por meio da realização do experimento do pêndulo simples.

Um pêndulo simples é um sistema que consiste em uma partícula suspensa por um cabo com massa desprezível e inextensível. Quando afastada da posição de equilíbrio sobre a linha vertical que passa pelo ponto de suspensão do cabo, e abandonada, essa partícula oscila no plano vertical sob a influência da força gravitacional.

“Durante os três últimos séculos, o pêndulo foi o mais confiável medidor de tempo que se dispôs” (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2007, p.95).

Ainda Halliday, Resnick e Krane (2007, p.95) evidenciam que a “utilização do pêndulo simples também propicia um procedimento conveniente para a medição do valor da aceleração gravitacional”.

A Figura 1 a seguir mostra um pêndulo simples de comprimento L e uma partícula de massa m em um instante em que o cabo faz um ângulo θ com a vertical e, dessa forma, é possível evidenciar as forças que atuam sobre a partícula. O movimento ocorre ao longo de um arco de circunferência de raio L .

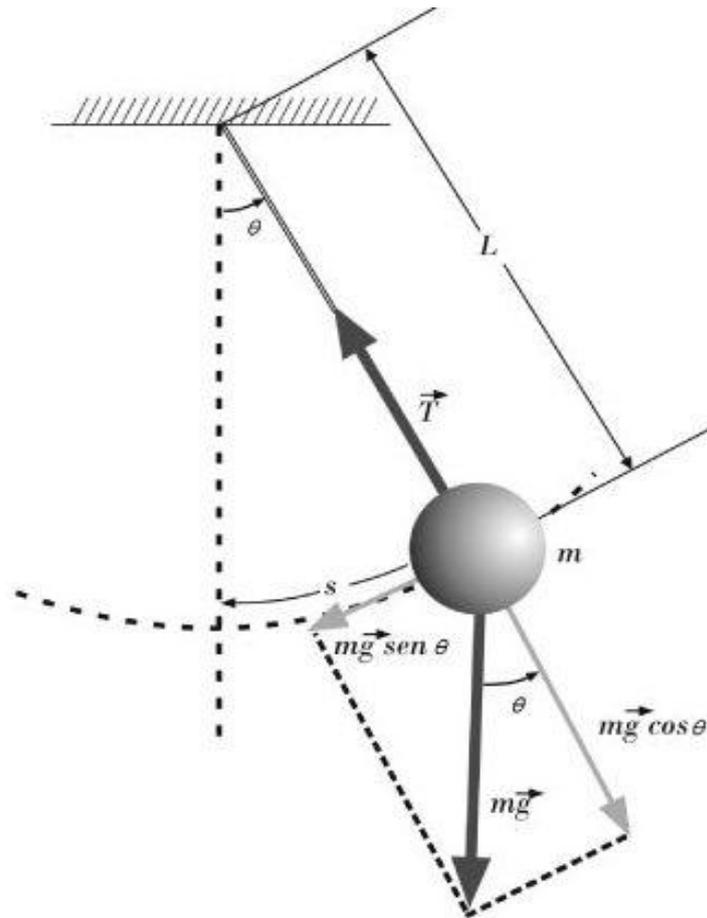


Figura 2 – Diagrama de forças atuantes no pêndulo
 FONTE (ARNOLD *et alli*, 2011)

O período de oscilação de um movimento harmônico simples pode ser calculado através da expressão:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

O cálculo da aceleração gravitacional local pode ser estimado com os valores do comprimento L do fio do pêndulo e do período T de uma oscilação por meio da equação:

$$g = L\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

Analisando a equação apresentada é possível notar que em sua composição não aparece a variável relativa à massa do corpo que oscila no pêndulo, isto é, a aceleração gravitacional e o período de oscilação não dependem da massa do corpo oscilante.

É interessante ressaltar que o período T de uma oscilação corresponde ao tempo gasto pelo pêndulo para sair de sua posição inicial e retornar bem próximo ao seu local de origem, ou seja, o tempo despendido para ir e vir.

Outro fato que vale ser ressaltado é que, como existem forças dissipativas durante a oscilação, a esfera metálica jamais voltará a sua posição exata de partida, entretanto, para pequenas amplitudes e poucas oscilações, a diferença entre a posição de origem e a posição de retorno é ínfima e pode ser desprezada. Porém, quanto maior a amplitude da oscilação, maior será o amortecimento da mesma.

Arnold *et alli* (2011) evidenciam que, como mostrado anteriormente, este modelo, apesar de fornecer elementos instrutivos e didáticos para determinação da aceleração da gravidade, possui uma premissa falha, pois não considera o efeito das forças de amortecimento das oscilações. Segundo o modelo utilizado, o pêndulo oscilaria com amplitude fixa e indefinidamente. Tal amortecimento citado pelos autores ocorre, principalmente, pela resistência do ar sobre as peças que constituem o pêndulo.

Ainda Arnold *et alli* (2011, p.1) afirmam que “a abordagem do pêndulo como elemento de estudo pode ocorrer em diferentes níveis, mas, inequivocamente, encontra-se sempre presente nas disciplinas introdutórias de física básica”.

A realização do experimento do pêndulo simples serve como sugestão de atividade para que o Professor realize em sala de aula e propicie condições de melhor compreensão do tema aqui tratado, bem como conceitos e outras grandezas físicas que se relacionam com a aceleração gravitacional como grandezas vetoriais e escalares, precisão, algarismos significativos, arredondamento, campo gravitacional, força gravitacional, massa, peso, resistência do ar, etc.

3. ROTEIRO EXPERIMENTAL

Objetivo

Determinar a aceleração da gravitacional local utilizando um pêndulo simples.

Materiais necessários

Para a realização do experimento, faz-se necessário:

- Fio inextensível com comprimento superior a 2 metros*;
- Esferas metálicas de massas distintas, porém de volumes iguais**;
- Cronômetro;
- Trena;
- Transferidor;
- Fita adesiva;
- Alicates;
- Suporte para ponto de suspensão do pêndulo***.

* Um tipo de fio inextensível que pode ser utilizado é a linha de pipa, conhecida popularmente com “Linha 10”. Quanto maior for o comprimento do fio, maior será o tempo de oscilação do pêndulo, dessa forma, é mais fácil aferir o tempo da oscilação.

** A sugestão de utilizar esferas de volumes iguais recai sobre o fato de que volumes diferentes farão com que a área de contato das esferas com o ar seja diferente durante as oscilações. Uma forma de viabilizar os volumes iguais é utilizar, por exemplo, chumbadas de pesca envolvidas por embalagens esféricas ou mesmo bolas utilizadas como enfeite de árvore de natal.

*** Uma forma de confeccionar um bom suporte para suspensão do pêndulo é dobrando um clipe metálico de papel com alicates como evidenciado nas Figuras 3 e 4 a seguir:



Figura 3 – Suporte de suspensão do pêndulo



Figura 4 – Suporte de suspensão com clipe metálico

Procedimento

A montagem do experimento começa com a confecção do suporte dobrando o clipe metálico com o alicate de modo que o fio passe por dentro de uma pequena circunferência moldada no clipe (Figura 4). Alguns nós no fio farão com que o mesmo passar, mas não deslizar pelo suporte criado.

A fixação do suporte para o ponto de suspensão do pêndulo deve ser feita com a fita adesiva (Figuras 3 e 4).

Posteriormente, faz-se necessária a amarração da outra extremidade do fio à esfera metálica de modo que o comprimento do fio pré-definido deve ser do ponto suspensão previamente fixado até o centro da esfera metálica.

Com a montagem do pêndulo concluída, para realização do experimento, faz-se necessária a utilização do transferidor para constatar que o fio, ainda esticado, faça um ângulo $\theta < 15^\circ$ com a sua posição de equilíbrio e, assim, defina-se a posição inicial de movimento de oscilação do pêndulo (em um plano imaginário), que será a posição onde, aproximadamente, o pêndulo retornará após uma oscilação completa, tendo partido com velocidade inicial nula.

Ao iniciar o movimento oscilatório, é necessário cronometrar o tempo T (período) decorrido durante 10 oscilações completas da massa pendular.

Com a média (aritmética) do período de oscilação, o cálculo do valor da aceleração gravitacional local pode ser realizado utilizando a equação:

$$g = L \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 .$$

Repita o experimento com pêndulos posicionados paralelamente e com esferas metálicas de massas diferentes oscilando simultaneamente com a mesma amplitude.

4. QUESTIONÁRIOS

A seguir, segue sugestão de questionários que podem ser aplicados previamente e posteriormente ao experimento proposto.

4.1 Questionário prévio

De acordo com seus conhecimentos, responda as seguintes questões:

- 1 – O que é aceleração?
- 2 – Qual a diferença entre força e aceleração?
- 3 – Sendo a aceleração gravitacional terrestre um tipo de aceleração, como você faria para calcular o valor dessa aceleração?
- 4 – O tempo de queda é influenciado pela massa de um corpo em queda livre? Justifique.

4.2 Questionário posterior

- 5 – O valor experimental de g encontrado lhe é satisfatório? Discorra sobre possíveis influências na divergência ou semelhança entre os valores.
- 6 – A utilização de esferas de massas diferentes influenciou nos valores da aceleração da gravidade g e do período T ? Por quê?
- 7 – Caso o experimento fosse realizado na lua, onde a aceleração gravitacional é menor que a terrestre, o tempo de oscilação (período) do pêndulo simples seria maior, menor ou igual? Justifique sua resposta.
- 8 – Quais as conclusões que você obteve após a realização do experimento?

Como sugestão, recomenda-se que o Professor tabule os dados obtidos em todos os questionários, de forma que seja possível quantificar as respostas satisfatórias e insatisfatórias, bem como a ausência de respostas em cada questão.

Pressupõe-se ser praticamente impossível tirar uma conclusão geral e precisa das respostas obtidas nos questionários, o Professor poderá observar

quais os aspectos relacionados à aceleração gravitacional são menos compreendidos pelos alunos de uma forma geral.

Uma possível evidência de que um aluno possui uma visão ainda aristotélica sobre o movimento dos corpos pode ser constatada através de respostas insatisfatórias para os quesitos 4 e 6, por exemplo.

Já os alunos que derem respostas bastante satisfatórias para os quesitos 2 e 7 por exemplo, podem ser casos em que, aparentemente, ocorreu a aprendizagem significativa do tema tratado.

O ideal é que caiba ao Professor tentar debater com os alunos sobre o porquê das repostas insatisfatórias, não evidenciando o erro de um ou outro discente específico, mas sim comparando respostas e exemplos corretos e incorretos dados pelos acadêmicos.

5. MAPAS CONCEITUAIS

A utilização de mapas conceituais no presente trabalho visa permitir que o aluno consiga entender as relações entre como campo gravitacional, aceleração gravitacional, força gravitacional, entre outros conceitos e grandezas físicas, de forma que o mesmo não as armazene aleatoriamente em sua estrutura cognitiva.

Na medida em que os alunos utilizarem mapas conceituais para integrar, reconciliar e diferenciar conceitos, na medida em que usarem essa técnica para analisar artigos, textos capítulos de livros, romances, experimentos de laboratório, e outros materiais educativos do currículo, eles estarão usando o mapeamento conceitual como um recurso de aprendizagem. (MOREIRA, 2012, p. 5).

As Figuras 5 a 9 apresentam alguns exemplos de mapas conceituais com enfoque no tema.

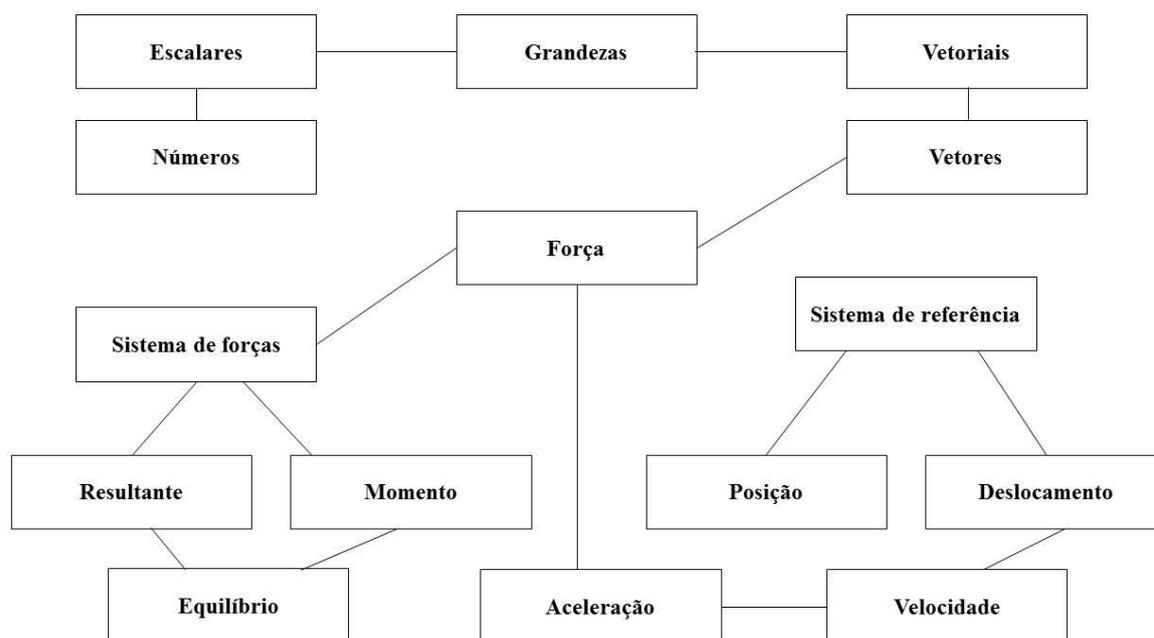


Figura 5 – Mapa conceitual envolvendo o conceito de força
 FONTE (Editado de GANGOSO, 1997)

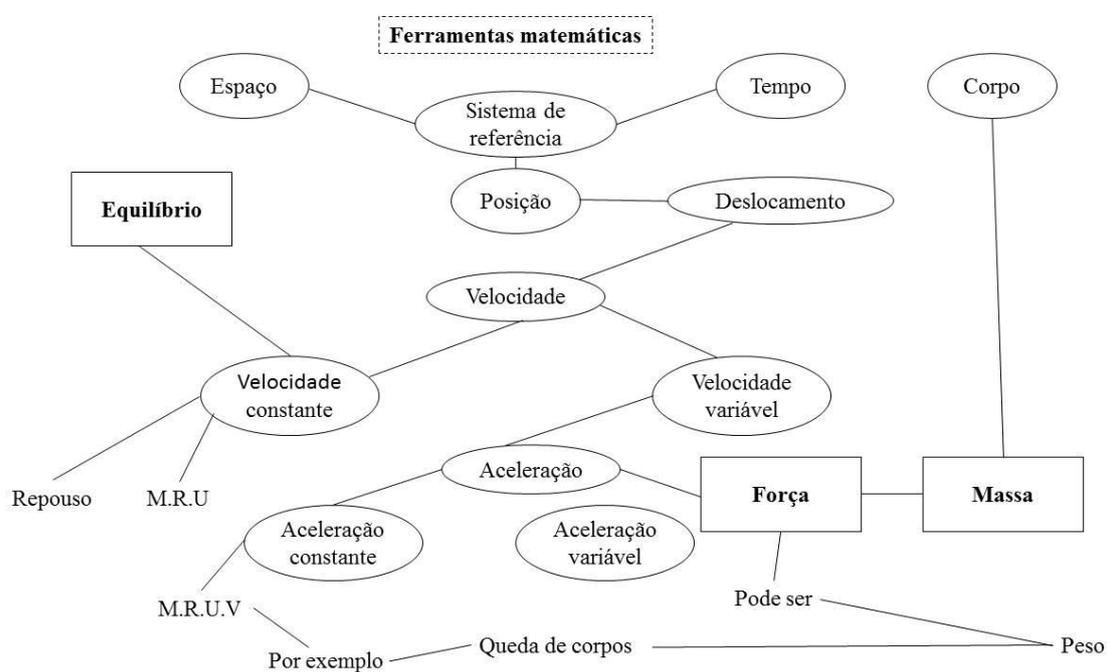


Figura 6 – Mapa conceitual que relaciona grandezas e conceitos físicos
 FONTE (Editado de GANGOSO, 1997)

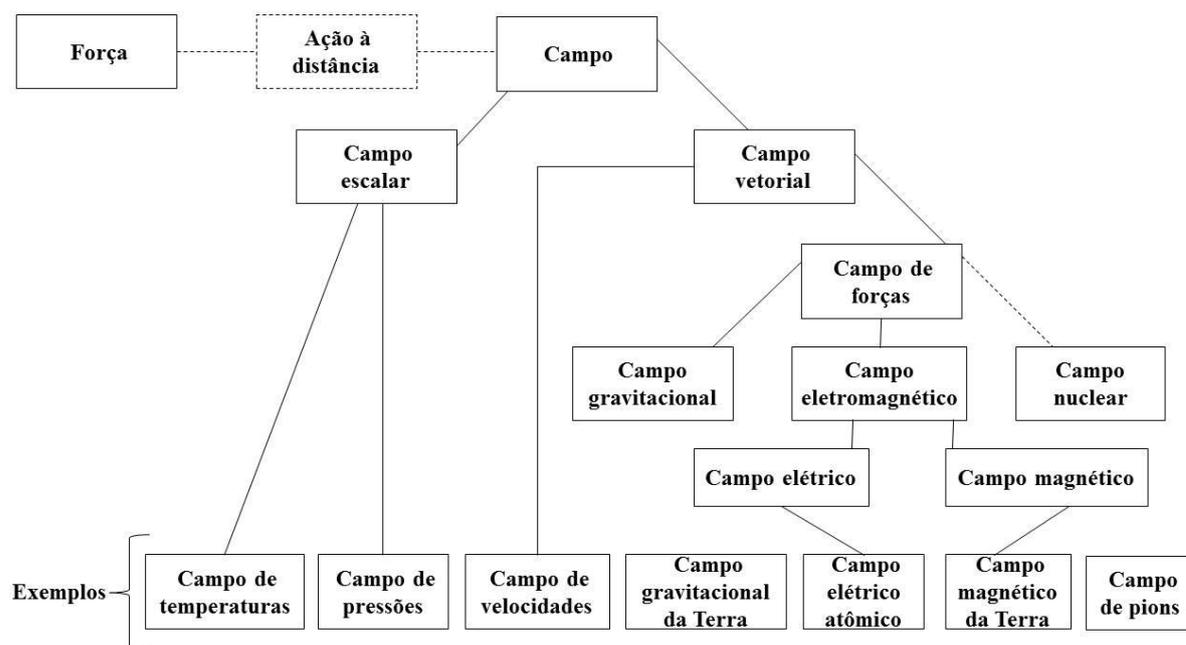


Figura 7 – Mapa conceitual que aborda sobre o conceito de campo
 FONTE (Editado de MOREIRA; MASINI, 2001)

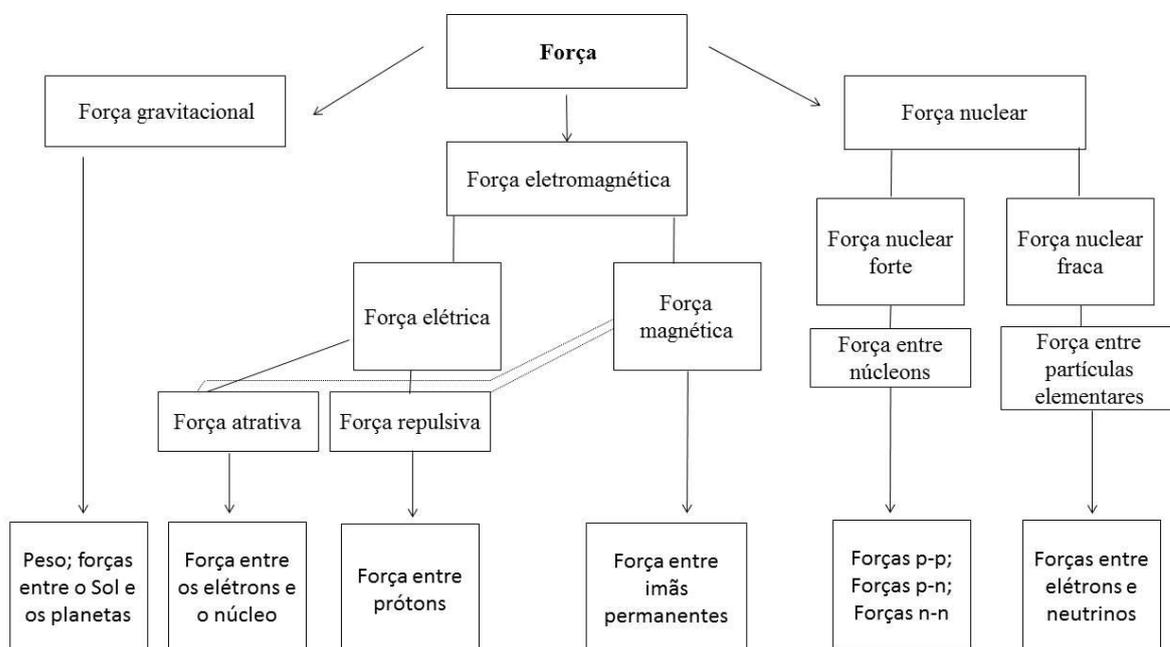


Figura 8 – Mapa conceitual que expressa relações entre tipos de forças
 FONTE (Editado de MOREIRA; MASINI, 2001)

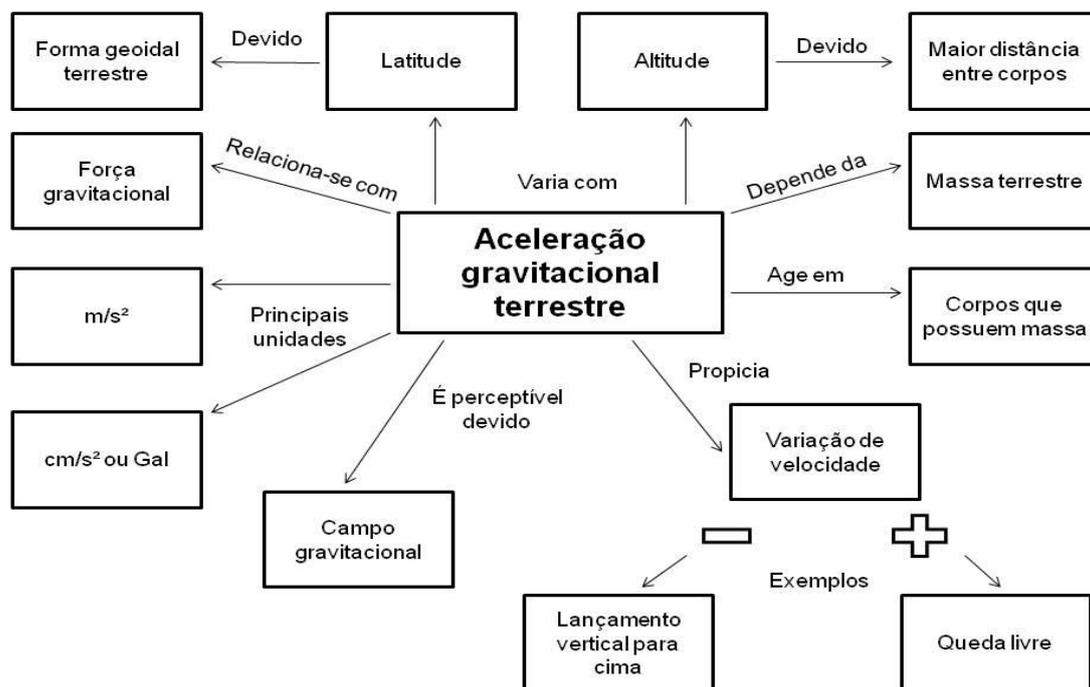


Figura 9 – Mapa conceitual que evidencia relações de grandezas e conceitos relativos à aceleração gravitacional
 FONTE (O autor, 2016)

6. ILUSTRAÇÕES EM FORMA DE QUADRINHOS

Por fim, as Figuras de 10 a 16 apresentam ilustrações em forma de quadrinhos que tratam sobre a gravidade que podem servir de ferramentas para que o Professor mostre ao aluno que o assunto aqui tratado não é algo distante da realidade discente.



Figura 10 – Quadrinho do Garfield que evidencia diferença entre peso e massa
 FONTE: <http://dicasdeciencias.com/2011/03/28/garfield-saca-tudo-de-fisica/> (2011)

No quadrinho da Figura 10, o icônico Garfield se aproveita de uma comum confusão entre peso e massa, dessa vez feita pelo seu dono, Jon Arbuckle, e o responde afirmando cumprir sua solicitação de perder “peso” partindo em viagem a um planeta onde a gravidade seja menor, assim, seu peso também será, já sua massa...

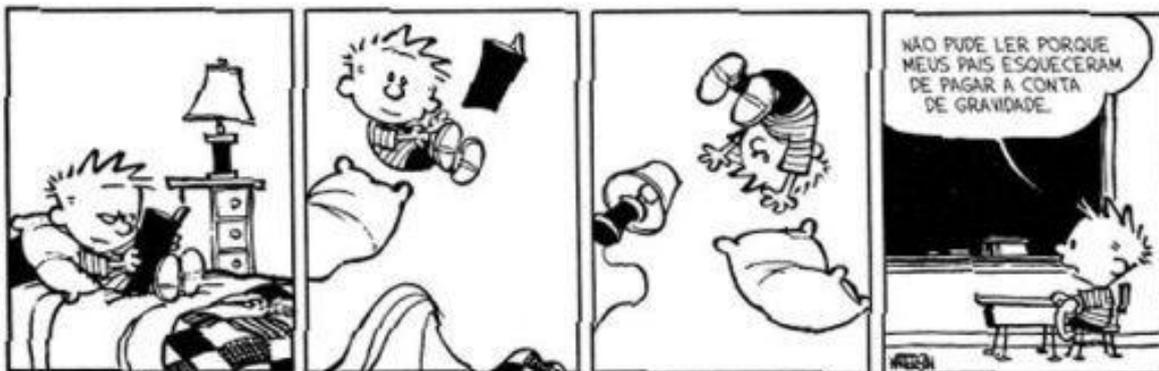


Figura 11 – Quadrinho do Calvin sobre a “conta da gravidade”

FONTE: <http://depositodocalvin.blogspot.com.br/2009/08/calvin-haroldo-tirinha-560.html> (2009)

No quadrinho da Figura 11 do Calvin, garoto que cria um mundo imaginário em seu cotidiano, aparentemente sem muita vontade de estudar, o mesmo idealiza não apreciar o campo gravitacional terrestre e sai flutuando pelo ar junto com os objetos ao seu redor, inclusive seu livro. Como se não bastasse não estudar, Calvin afirma em sala de aula que a culpa por ele não ter estudado foi de seus pais que não pagaram a conta da gravidade. Será que ele sabe que a gravidade na Terra é de graça? Ou melhor, custa apenas ter massa...

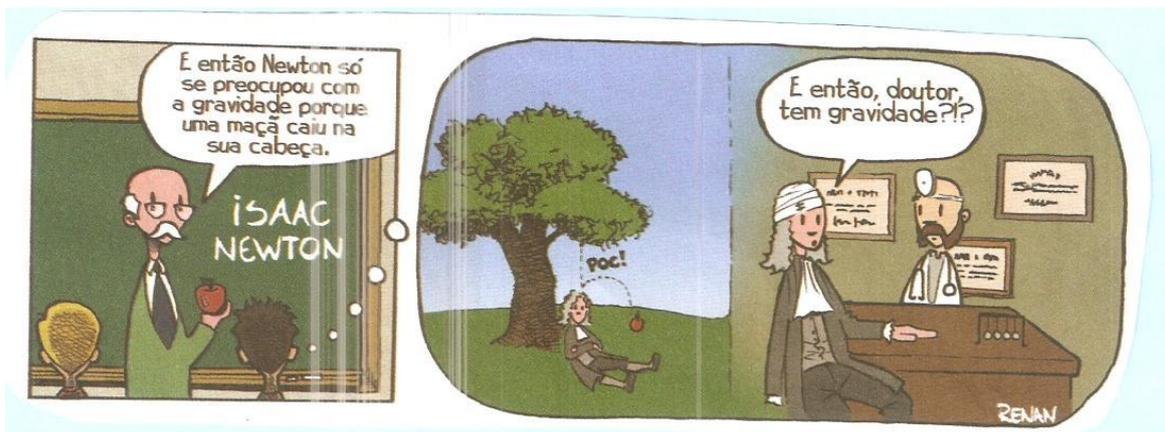


Figura 12 – A gravidade da queda da maçã para Newton segundo um aluno
 FONTE: http://caldasredacaoturma801.blogspot.com.br/2010_03_01_archive.html
 (2010)

No quadrinho da Figura 12, diante da afirmação do Professor, o aluno imagina que a preocupação de Newton seria com a gravidade da enfermidade causada devido a queda da maçã em sua cabeça. A gravidade do fato é relativa ao fato da gravidade existir.



Figura 13 – Quadrinho que ilustra a diferença entre força e aceleração gravitacional
 FONTE: <http://sarauxyz.blogspot.com.br/2015/09/jaguar.html?view=snapshot&m=1>
 (2015)

Já no quadrinho da Figura 13, de autoria de Jaguar, hilário cartunista brasileiro, podemos ver o personagem feliz por ter descoberto a lei da gravidade evidenciando que, caso fosse um coco e não uma maçã, a força gravitacional (algo diferente de aceleração gravitacional) com que o fruto cairia sobre sua cabeça seria maior devido maior massa do coco se comparado à

maçã. A aceleração com que os dois corpos cairiam seria a mesma, a aceleração gravitacional, mas as forças com que se chocariam seriam diferentes devido suas massas serem diferentes.



Figura 14 – A queda de ministros comparando-a com a teoria da gravidade
FONTE: <http://www.humorpolitico.com.br/governo-dilma-2/3-ministros-em-8-meses/>
(2011)

Duke, outro cartunista brasileiro bastante talentoso, faz uma analogia ao fato de que alguns novos ministros não se sustentaram em seus cargos e compara a “queda” deles com a teoria da gravidade: tudo que sobe, cai (Figura 14). Resta saber se ocorreu uma “queda livre” ou um lançamento vertical para baixo.



Figura 15 – Exemplo de quebra da lei da gravitação universal
FONTE: Editado de http://www.therationaltheorist.org/2008_07_01_archive.html (2008)

No quadrinho da Figura 15, João é acusado pelo júri de violar leis e, de quebra, viola na frente do juiz mais uma: a lei da gravidade.



Figura 16 – Quadrinho que evidencia desafio das árvores em subir (crescer) e desobedecer a lei da gravidade
 FONTE: http://www.stuartmcmillen.com/comics_pt/ar/ (2012)

O último, mas não menos importante quadrinho (Figura 16), evidencia a tendência natural das árvores em subir (crescer) e desobedecer a lei da gravidade. As árvores sobem (crescem), mas seus frutos e folhas, sem fixação, caem.

Belan (2015) explica que isso acontece graças a um hormônio que a árvore possui, chamado auxina. Essa substância é a responsável por fazer os galhos crescerem na direção contrária a da gravidade. A auxina estimula o alongamento do caule e dos galhos das plantas, viabilizando o crescimento deles para cima, fenômeno chamado de geotropismo negativo.

Essa é uma oportunidade que o Professor tem evidenciar relações interdisciplinares ao expor relações entre a aceleração gravitacional e o ensino de biologia, por exemplo.

7. SÍNTESE FINAL

Fundamentado teoricamente sob a ótica da teoria da aprendizagem significativa, este produto educacional apresenta-se como instrumento à disposição do Professor de Física que, utilizando-o, poderá lecionar sobre questões relativas à aceleração gravitacional tendo a sua disposição aspectos históricos sobre o movimento dos corpos, proposta com experimento do pêndulo simples, questionários, mapas conceituais, bem como ilustrações em forma de quadrinhos relacionados ao tema.

O conjunto aqui apresentado é uma proposta de abordagem do tema em questão com o objetivo de viabilizar a aprendizagem significativa do mesmo. Sua utilização visa propiciar condições para que o aluno passe pelo processo de ensino-aprendizagem de forma que consiga desenvolver sua capacidade cognitiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, F. J.; RANGEL, A.; BRAVO-ROGER, L. L.; GONÇALVES, M. S.; OLIVEIRA, M. J. G. de. Estudo do amortecimento do pêndulo simples: uma proposta para aplicação em laboratório de ensino. 2011. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Vol. 33, N. 4.

BELAN, F. Biologia Mais. 2015. Disponível em: <<http://biologiamais.com.br/postagens-curtas/por-que-os-galhos-das-arvores-sao-para-cima-se-a-gravidade-puxa-tudo-para-baixo-22.html>> Acesso em 30 mai 2016.

CARVALHO, M. S.; TRAVASSOS, C.; COELI, C. M. Contra a cultura do corta & cola. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, Vol. 30, N. 5. 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2014000500905&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 25 set 2015.

CHERMAN, A.; MENDONÇA, B. R. Por quê as coisas caem? Zahar. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2010.

COHEN, I. B. O. O nascimento de uma nova física. Lisbo. Gradiva, 1988.

DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S.; SOUZA, M. T. M. de. A Gravitação Universal: um texto para o Ensino Médio. 2004. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Vol. 26, N. 3. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172004000300012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13 Jun 2015.

FERREIRA, F. J. F. Método gravimétrico. 2011. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2012/03/Grav_Teoria.pdf> Acesso em 30 mai 2016.

GANGOSO, Z. El fracaso en los cursos de física. El mapa conceptual, una alternativa para el análisis. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Vol. 14, N. 1. 1997.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Glossário cartográfico. 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/glossario/glossario_cartografico.shtml>. Acesso em 17 abr 2015.

KOYRÉ, A. Estudos de história do pensamento científico. Rio de Janeiro. Forense-Universitária, 1982.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. 2012. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf>>. Acesso em 17 abr 2015.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo. Centauro, 2001.

NEVES, M. C. D. De experimentos, paradigmas e diversidades de ensino de Física: construindo alternativas. 1ª Edição. Maringá: Massoni, 2005.

PORTO, C. M. A física de Aristóteles: uma construção ingênua?. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Vol. 31, N. 4. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-1117200900400019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 05 out 2015.

REIS, N. T. O.; GARCIA, N. M. D.; SOUZA, P. N. de; BALDESSAR, P.S. Análise da dinâmica de rotação de um satélite artificial: uma oficina pedagógica em educação espacial. **Revista Brasileira de Ensino Física**, São Paulo, Vol.

30, N. 1, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172008000100011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 Jun 2015.

RESNICK, R; HALLIDAY, D. KRANE, K. S. Física. Vol. 2. LTC. 5ª Edição. Rio de Janeiro, 2007.

RESQUETTI, S. O. e NEVES, D. Galileu e sua obra no ensino de Física hoje. Eduem. Maringá, 2011.

SERWAY, R. A.; JEWETT Jr, J. W. Princípios da física. Cengage Learning. São Paulo, 2014.

SILVEIRA, F. L. Da. O formato da Terra. 2014. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=828>>. Acesso em 17 mar 2015.

ZYLBERSTAJN, A. A evolução das concepções sobre força e movimento. Florianópolis. 2006.

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

M386a Martins, André da Costa
Aceleração gravitacional : uma proposta de abordagem com objetivo de viabilizar sua aprendizagem significativa / André da Costa Martins. -- Maringá, 2016.
80, 36 f. : il. (algumas color.), figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2016.

1. Aceleração gravitacional. 2. Física - Ensino médio. 3. Meio Ambiente - Ensino de física. 4. Pêndulo simples - Experimento. I. Oliveira, Breno Ferraz de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. III. Título.

CDD 21.ed. 531.14

AMMA-003348