

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE FÍSICA

HIRAM ZALESKI MOREIRA

ANALOGIAS E METÁFORAS NO ENSINO DE FÍSICA

Maringá - PR

2013

HIRAM ZALESKI MOREIRA

ANALOGIAS E METÁFORAS NO ENSINO DE FÍSICA

Monografia apresentada como requisito
parcial para a obtenção do título de
Licenciatura Plena em Física, pelo
Curso de Licenciatura em Física da
Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar
Danhoni Neves

Maringá - PR

2013

HIRAM ZALESKI MOREIRA

ANALOGIAS E METÁFORAS NO ENSINO DE FÍSICA

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciatura Plena em Física, pelo Curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Maringá.

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves

Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Ricardo Francisco Pereira

Universidade Estadual de Maringá

Prof.^a Dr.^a Francielle Sato

Universidade Estadual de Maringá

Maringá

28 de novembro de 2013.

DEDICATÓRIA

*À memória viva de minha mãe Ivone e ao meu querido irmão Izaias,
que entregaram as suas partes ao Universo, mas que sempre estarão
presentes em nossos corações.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha amada esposa Ticianne; pelo seu amor, companheirismo e amparo nas horas difíceis.

Ao meu pai Pedro, que sempre me direcionou ao caminho do bem e da moralidade; pelos seus conselhos, as surras que dele levei e toda a sua confiança em mim.

Agradeço também as minhas queridas irmãs; Eliane e Eloiza e as suas famílias pelo carinho e o apoio prestado.

A todos os meus amigos.

Ao meu orientador professor Marcos, pela paciência, pela ajuda e por ter me ensinado ciências.

Aos professores e colegas do curso, pelos momentos de aprendizagem que compartilhamos ao longo do curso.

MOREIRA, Hiram Zaleski. **Analogias e metáforas no ensino de Física.** Monografia (Licenciatura em Física) - Universidade Estadual de Maringá - UEM , 2013.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo fazer uma análise quanto ao uso de analogias e metáforas para o desenvolvimento da Ciência bem como o uso destas linguagens no ensino de Física. Foi feita uma revisão bibliográfica buscando os aspectos e contextos históricos relacionados à Ciência. Mostramos indicações de que as analogias e metáforas estiveram presentes nas obras de cientistas e filósofos famosos. Analisamos também, alguns exemplos de analogias e metáforas usadas no ensino de Física observando alguns exemplos contidos em livros textos, usados em escolas do Ensino Médio e Universidades juntamente com as experiências vividas pelo autor deste trabalho.

Palavras chaves: Ensino, Física, analogia, metáfora.

ABSTRACT

The present study aimed to analyze how the use of analogies and metaphors for the development of science and the use of these languages on the physics teaching. A literature review was based on aspects and historical contexts related to science. We show evidence that the analogies and metaphors were present in the works of famous scientists and philosophers. We also analyzed some examples of analogies and metaphors used in teaching physics observing some examples in textbooks, used in high schools and universities along with the experiences of the author of this work.

Key words: education, physics, analogy, metaphor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	As sombras projetadas pelo <i>gnômon</i> ao longo do dia.....	13
Figura 2	Músculos do ombro e braço e ossos do pé.....	18
Figura 3	Estrutura mecânica da asa de um morcego.....	18
Figura 4	Obstáculos geométricos para o estudo de correntes de fluido.....	19
Figura 5	Lei piramidal de Leonardo da Vinci.....	20
Figura 6	Capa do livro “Dialogo” de Galileu.....	22
Figura 7	A “analogia do navio” utilizada por Galileu.....	24
Figura 8	Diagrama “lei dos números ímpares consecutivos”.....	24
Figura 9	Relógio pêndulo de Galileu.....	25
Figura 10	Relógio pêndulo de Huygens.....	26
Figura 11	Experimento do plano inclinado de Galileu.....	31
Figura 12	Experimento da funda citado por Descartes.....	32
Figura 13	Movimento de precessão.....	33
Figura 14	Carro movido à vapor de Cuognot 1765.....	35
Figura 15	Experimento do canhão de Newton.....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 O USO DE ANALOGIAS E METÁFORAS: ABORDAGEM HISTÓRICA.....	11
3 EXEMPLOS DIDÁTICOS DE ANALOGIAS PARA O ENSINO DE FÍSICA.....	30
3.1 Conceito de Inércia.....	30
3.2 Conceito de força como grandeza vetorial.....	31
3.3 Força centrípeta.....	32
3.4 O movimento de precessão.....	33
3.5 Quantidade de movimento.....	33
3.6 Conservação do momento linear.....	34
3.7 Energia potencial gravitacional.....	36
3.8 Energia cinética.....	36
3.9 Orbita circular de satélites.....	36
3.10 Primeira lei da Termodinâmica.....	38
3.11 Força elétrica.....	38
3.12 Campo elétrico.....	39
3.13 Fluxo de carga e corrente elétrica.....	39
4 CONCLUSÃO.....	40
5 REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Na busca de metodologias que aproximem as distâncias entre professores e alunos, escolhemos para a presente pesquisa *O uso de analogias e metáforas no ensino de Física*. De acordo com Jorge (1990) o uso de analogia¹ em sala de aula, torna os conceitos mais significativos quando o estudo de um novo objeto é abordado através de outro fenômeno já experimentado pelo aluno. Segundo Duarte (2005) uma analogia é definida como uma relação ou comparação entre dois conceitos de diferentes estruturas, sendo um deles conhecido e o outro desconhecido.

Encontramos estudos quanto ao uso de analogia em Nagem *et al* (2001), onde a linguagem, a motivação e as experiências vividas são fatores que influenciam no aprendizado das pessoas. Segundo estes autores uma analogia também pode ser usada como instrumento de avaliação e aprendizagem, ou seja, o aluno é motivado a construir as suas próprias analogias para explicitar a sua compreensão com o assunto estudado. Bozelli (2005) coloca que a elaboração e o desenvolvimento de uma analogia ou metáfora², não se devem somente ao professor, e sim, a uma participação coletiva entre os alunos.

Outros pesquisadores como Silva e Terrazzan (2011) testaram em seus trabalhos algumas das analogias mais usadas pelos professores em sala de aula visando à busca das mais convincentes figuras para a explicação de um determinado fenômeno físico.

Contudo, a investigação sobre a utilização destas analogias e metáforas no ensino de Ciências a princípio invoca algumas interrogações, ou seja, podemos nos perguntar: Quais os pensadores, filósofos ou cientistas que participaram da escalada da ciência e utilizaram analogias ou metáforas em seus discursos? Quais são as analogias e metáforas usadas atualmente no ensino de ciências? Quais são as limitações quanto ao uso destas analogias e metáforas? Como construir, aplicar e testar a eficácia de uma determinada figura de linguagem? Quais seriam os fatores que contribuem para o aperfeiçoamento quanto o uso de analogias e metáforas como metodologia de ensino?

¹ Analogia é um processo comparativo de fenômenos diferentes através de suas semelhanças. JORGE (1990).

² Na visão clássica, as expressões metafóricas podem ser parafraseadas e são usadas para substituir expressões literais, para embelezar o discurso, para se falar sobre assuntos com alto grau de complexidade. FARIAS (2009).

Seguindo basicamente este critério, baseado em perguntas norteadoras, faremos uma busca em livros textos de História da Ciência na intenção de verificar o uso de analogias e metáforas na construção e no desenvolvimento do pensamento científico.

Nossa investigação iniciou-se basicamente em: Hesíodo (1995) e Kirk *et al.* (1994) dos quais conseguimos relatos históricos sobre os primeiros sistemas de mundo, Spinelli (1998) onde o autor transcreve a vida e obra dos “*Primeiros mestres da filosofia e da ciência grega*”.

Em autores como: Michel *et al.* (1959), Rossi (2001), Capra (2007) , Assis (2008), Danhoni Neves (2011) e Andery (2012), buscaremos relatos históricos científicos de conceitos ou fenômenos baseados no uso de analogias e metáforas. Analisaremos as grandes obras clássicas de autores como Copérnico (1996), Galilei (2004) e Bruno (2007), na intenção de verificar quais as analogias e metáforas que foram utilizadas por estes cientistas.

Faremos também, uma investigação em dois livros textos de autores como Nussenzveig (2002) e Hewitt (2011) que foram escolhidos aleatoriamente na intenção de verificar superficialmente quais as analogias e metáforas utilizadas no ensino atualmente.

Além da consulta bibliográfica, verificaremos alguns exemplos de analogias e metáforas, que em algum determinado momento já foram vividas, experimentadas ou construídas pelo autor deste trabalho.

2 O USO DE ANALOGIAS E METÁFORAS: ABORDAGEM HISTÓRICA

As reflexões sobre História da Ciência atingiram valores de extrema importância e diante disso, para a presente discussão sobre o uso de analogias e metáforas no ensino de Física, façamos um regresso no tempo onde homens pensadores defendiam algumas ideias para explicar alguns dos fenômenos no mundo.

De acordo com Kirk *et al* (1994) a grande parte da literatura mais antiga que possuímos apresenta-se como referências em Homero, Hesíodo e também em Xenófanes, datadas do século VIII a.C. Encontramos em Hesíodo (1995) a chamada *Teogonia dos deuses*, que descreve a criação e o surgimento dos deuses da mitologia grega.

As primeiras explicações sobre o mundo são provenientes de lendas, mitos e deuses que mais tarde acabaram sendo personificados por pensadores posteriores. As mais antigas concepções sobre o nascimento dos mundos, a estrutura do cosmos e o estudo sobre a natureza são provenientes de registros históricos de homens que seguiam as tradições de seus antepassados.

Estes modos quase-racionalistas de encarar o mundo dizem respeito, na maioria dos casos a fase mais recuada da sua história, e começa verdadeiramente com o seu nascimento ou criação, ao mesmo tempo coincidem com o esforço (realizado da forma mais notável por Hesíodo na *Teogonia*) para sistematizar as múltiplas divindades de lenda, ao fazê-las descender de um antepassado comum ou de um par de antepassados, no começo dos mundo (KIRK, HAVEN, SCHOFIELD, 1994, p.1).

Contudo, a literatura antiga de Hesíodo, por mais que possa revelar-se mitológica e fora dos limites da Ciência, age como se fossem um prelúdio para uma apresentação lógica do Cosmo e de imediato nos fornece um exemplo de uso de analogia e metáfora em trechos das fontes gregas primitivas.

Encontramos em Kirk *et al* (1994) alguns escritos das chamadas Rapsódias Órficas do século VI a.C, trata-se de alguns fragmentos do poeta Orfeu, que também foram citadas nas obras neoplatônicas e que apesar de serem repletas de crenças arcaicas apresentam o uso de comparações com possíveis situações do cotidiano ou com objetos conhecidos. Vejamos o que diz um dos escritos de Aquiles, quando ele comparou o universo relacionando-o com as partes que constituem um ovo; a casca, a membrana, a clara e a gema análogos ao limite do cosmo, as estrelas do firmamento e a Terra, respectivamente.

[...] Quanto à disposição por nós atribuída a esfera celeste, dizem os Órficos que é idêntica à quase que se encontra nos ovos: é que a relação que a casca tem no ovo, e a que o firmamento tem no universo, e assim como o aither esta circularmente ligado ao céu, assim também a membrana adere a casca. Aquiles (*apud* KIRK, RAVEN, SCHOFIELD, 1994, p. 24).

Apesar de toda beleza da literatura mitológica grega, estamos interessados neste momento em consultar a parte lógica e racional que evidentemente é ligada ao pensamento científico. Seguindo este critério podemos encontrar nas obras dos *filósofos da Natureza*, uma denominação usada por Aristóteles e que na atualidade, depois de serem catalogados os fragmentos e testemunhos, são chamados nos dias de hoje como: *filósofos Pré-Socráticos*.

Tudo que temos sobre os escritos dos pensadores pré-socráticos mantiveram-se como fragmentos e citações nas obras de pensadores como Platão, Aristóteles, Simplicio, Plutarco entre outros. O florescimento do pensamento racional aconteceu na Jônia por volta do século V a.C, e daquele tempo citamos Tales de Mileto, um astrônomo, matemático e que foi considerado o mais antigo físico grego investigador da natureza, que por sua vez e de uma forma natural, caracterizou a água como elemento primário na geração da vida.

[...] considerado por muitos como o *primeiro* em várias coisas, inclusive, segundo Eusébio, como *o primeiro filósofo da Natureza*. Mas de tudo o que ele se atribui, o seu grande mérito (aquele no qual os doxógrafos põem maior acento), fica por conta do fato de ter *importado* para a Grécia esta ou aquela descoberta; melhor do que isso, de ter se apropriado do instrumental técnico ou de anotações de princípios (sobre de registros de detalhadas observações empíricas feitas por sacerdotes babilônios e egípcios), que lhe permitiram desencadeá-las (SPINELLI, 1998, p.33).

Podemos encontrar em Tales o emprego de analogias em seu método utilizado para medir a altura de uma pirâmide. Segundo Spinelli (1998) Tales fez uma viagem até o Egito onde ele desenvolveu empiricamente parte de seus estudos sobre a Geometria. Observamos o uso de linguagem quando ele resolveu o problema em medir a altura de uma pirâmide que está para o comprimento da sua sombra, exatamente como a altura de qualquer objeto vertical mensurável está para o comprimento da sua sombra no mesmo momento do dia. Este teorema é aquele sobre a igualdade de triângulos que também é

uma analogia, pois envolve uma situação observável que muito bem pode ser imaginada para o entendimento do conceito no campo da Geometria.

Outro notável pensador grego foi Anaximandro de Mileto discípulo de Tales. De acordo com Kirk et al (1994), Anaximandro acreditava que a fonte originadora das coisas seria de infinitas possibilidades, Além disso, ele foi o primeiro sábio grego a fazer uso do *gnômon*, um tipo de relógio de sol que se resume em uma haste vertical cuja sombra projetada divide o dia em doze partes.

Um marcador solar pode se construir numa vareta simples fincada no chão como já faziam os índios de Bornéu. [...] Esse marcador, conhecido pelo nome de *gnômon* (palavra que se origina da matemática e que tem a ver com o cateto de um triângulo) não diz nada a respeito das horas do dia, mas é um 'instrumento' valioso para se determinar, com precisão, as coordenadas geográficas locais (DANHONI NEVES, 2011, p. 16).

Danhoni Neves (2011) aponta que o relógio solar não é preciso, pois a Terra não é perfeitamente esférica e sim achatada nos polos e existe um ângulo entre o plano da eclíptica e o plano equatorial. Outro registro sobre este pensador grego encontramos em Kirk et al (1994) este autor relata que Anaximandro não inventou o *gnômon*, provavelmente este conhecimento foi adquirido pelos babilônios e utilizado na Grécia como marcador das horas do dia e as estações do ano.

Observamos aqui uma situação fenomenológica relacionada a uma analogia que é invocada para explicar o funcionamento do relógio solar; a sombra projetada no plano horizontal representa uma determinada hora do dia, juntamente com o deslocamento do sol, que durante o decorrer do ano verifica-se o equinócio e os solstícios.

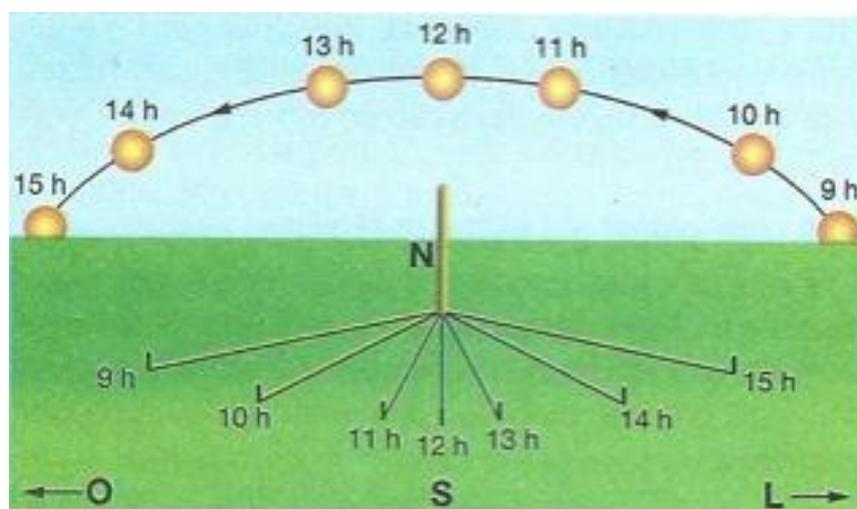


Figura 1: As sombras projetadas pelo gnômon ao longo do dia.

O relógio solar poderia muito bem ser utilizado na agricultura local, pois o nascimento do sol varia conforme o decorrer do ano e os gregos poderiam conhecer as estações favoráveis ao plantio. A atividade agrícola seria feita por muitos, e o questionamento sobre as coisas e causas, poderiam surgir através destas situações e um dos canais que ligam estes dois olhares, dizemos que é uma analogia ou uma metáfora.

Na época da *ciência helênica* as noções sobre matemática, astronomia, medicina e o conhecimento empírico trazido do Oriente ampliaram-se e grandes transformações culturais aconteceram.

De acordo com Andery et al. (2012) a escola pitagórica assumiu um papel importante para o desenvolvimento das ciências sobre a natureza. Para estabelecer uma relação entre números e quantidades os pitagóricos usaram pontos desenhados em forma de figuras; um ponto simbolizava o número um; dois pontos o número dois e assim por diante. Temos aí um exemplo simples de analogia, mas que foi de extrema importância para o desenvolvimento da Aritmética intuitiva.

De tempos em tempos surgiram grandes pensadores, mas não estamos aqui para verificar todos eles, mas sim, os mais significativos que usavam analogias e metáforas em seus discursos.

No berço do pensamento científico nasceu no ano de 384/383 a.C. Aristóteles em Estagira. Foi para Atenas aos dezoito anos e foi discípulo de Platão. Seus estudos conduzidos por pensamentos lógicos seriam válidos para o mundo observável, porém pouco difundido pela linguagem matemática. Segundo Duarte (2005), as primeiras teorias sobre o uso de analogias e metáforas são atribuídas aos gregos, mais precisamente à Aristóteles.

Para explicar os conceitos de *peso* e *leveza* e *lugar natural* das coisas, Aristóteles recorre ao uso de um análogo conhecido, por exemplo, o fogo é privado de peso e tende a subir e se não for impedido atinge o seu lugar natural. Assim como os objetos que possuem peso³, caem perpendicularmente em direção ao centro da Terra, pois possuem o grave diferente de um objeto leve como o fogo.

³ O conceito de massa só passará a existir depois de Newton: aqui serão sempre graves para os corpos pesados e leves para os corpos com leveza.

Não é difícil notar que o uso de analogia mantém uma relação muito forte com a observação empírica. Toda vez que usamos uma analogia fazemos uso de uma situação observável ou pelo menos sobre o alcance do pensamento comum.

E isso serve para sublinhar outro aspecto da ciência aristotélica – é uma ciência do senso comum. Ela tenta explicar a estrutura geral e o funcionamento do mundo em termos de processos cujas operações são evidentes a todos; ela não envolve nenhum mistério teórico (BARNES, 2009, p. 195).

A Física de Aristóteles por muitos séculos tornou-se a explicação mais aceitável que condizia com as verdades imutáveis sobre o mundo fechado e finito. Através das ideias aristotélicas construiu-se um paradigma que dava conta de explicar as mais diversas áreas do conhecimento e, além disso, as concepções aristotélicas influenciaram muitos outros como Ptolomeu que defendeu a teoria do geocentrismo. O entendimento que Aristóteles tinha sobre a Natureza, é ligada hoje ao pensamento comum, porém, reconhecemos toda a sua genialidade e a sua importância para o desenvolvimento científico. Muitos dos conceitos sobre ética, lógica e política foram desenvolvidos por Aristóteles e são discutidos até nos dias atuais.

A investigação sobre a Natureza reuniu grandes obras e grandes cientistas e por isso não podemos deixar de citar neste trabalho uns dos maiores nomes da Matemática. Euclides que viveu em Alexandria na primeira metade do século III a.C., reuniu em seu livro, *Elementos*, muito do conhecimento matemático produzido até aquela época.

Os *Elementos*, uma obra que contém postulados referentes à geometria e diversos teoremas demonstrados dedutivamente serviram de base pra diversos estudos.

Em sua obra, Euclides tratou das propriedades paralelas e perpendiculares, estudou os triângulos, abordou as relações entre áreas dos quadrados e dos retângulos, as propriedades dos círculos, dos ângulos inscritos, dos polígonos. Estudou a teoria dos números os aspectos vinculados a determinação do máximo divisor comum e do processo de fatoração, estudou os números irracionais, desenvolveu as noções sobre geometria no espaço (paralelepípedos, pirâmides, esferas etc.) (ANDERY, MICHELETO, SÉRIO, 2012, p.123).

A geometria euclidiana funciona muito bem em superfícies planas e neste contexto podemos fazer um análogo entre o espaço euclidiano com um cubo, porém, nem tudo no universo se resume a geometria de um cubo. Um problema surge quando desenhamos em uma folha de papel uma figura qualquer como um quadrado ou um

triângulo. Se recortarmos estas figuras e tentarmos colar sobre uma superfície esférica de forma que todas as margens destas figuras entrem em contato com a superfície notaremos em suas bordas algumas imperfeições. Isso mostra na prática que as propriedades da geometria plana são bem diferentes da geometria esférica. Este problema e outros mais complexos foram resolvidos mais tarde por matemáticos como Gauss, Bolyai, Lobachevski e Riemann que desenvolveram a geometria esférica que hoje é muito usada na Astronomia e na navegação.

Quando somos desafiados a resolver um determinado problema que envolva situações de contorno ou uma determinada superfície, fazemos uma comparação entre as simetrias. Se as condições de contorno do problema se aproximarem de uma superfície esférica fazemos um análogo a geometria esférica ou coordenada esférica.

Existem outras possibilidades de analogias, por exemplo; um objeto que se assemelhe a um cilindro faz um análogo às coordenadas cilíndricas e com isso tentamos aproximar a simetria do problema com as geometrias que conhecemos ou pelo menos, as que conseguimos deduzir matematicamente. E é neste contexto que podemos destacar uma obra que assume um papel fundamental no estudo de relações entre o comprimento da circunferência e o seu diâmetro, ou seja, no início do cálculo também verificamos o uso de analogias. *O Método* de Arquimedes (287 a 212 a.C.) que segundo Assis (2008) até o ano 1906 conhecia-se apenas o seu título, foi examinada e traduzida pelo erudito dinamarquês J. L. Heiberg (1854-1928). Trata-se de um pergaminho que continha orações e escritas da igreja ortodoxa do século XIII que foi redigida por cima de um texto matemático datado do século X.

[...] em 1899 Heiberg leu uma informação sobre um palimpsesto de conteúdo matemático localizado em Constantinopla. A palavra palimpsesto significa “raspado novamente.” Em geral trata-se de um pergaminho (pele de animal raspada e polida para servir de escrita) usado duas ou três vezes, por meio de raspagem do texto anterior, devido à escassez do material ou ao seu alto preço. Este palimpsesto específico continha uma coleção de orações usadas na igreja ortodoxa Oriental, escritas por volta do século XIII, redigida sobre um texto manuscrito matemático do século X. Por algumas poucas linhas a que teve acesso, Heiberg suspeitou que se tratava de um texto de Arquimedes (ASSIS, 2008, p. 32).

Os trabalhos de Arquimedes na maioria das vezes eram apresentados em sua forma final, ou seja, não apresentavam todo o desenvolvimento matemático usado até chegar às conclusões finais. Por outro lado, *O Método* de Arquimedes, depois de descoberto e traduzido revelou-nos como foram os procedimentos e técnicas utilizadas

pelo cientista grego. O *método mecânico*, como Arquimedes o chamava, simplesmente consistia de comparações, circunscrições de figuras e volumes geométricos. Podemos encarar tudo isso como um notável raciocínio analógico. Quando Arquimedes terminou a sua demonstração sobre o volume da esfera ele fez o seguinte comentário:

“A partir deste teorema, com o resultado de que [o volume de] uma esfera é quatro vezes tão grande quanto [o volume] do cone tendo como base um círculo máximo da esfera e com uma altura igual ao raio da esfera, concebi a noção de que a superfície de qualquer esfera é quatro vezes tão grande quanto um círculo máximo da esfera; pois, julgando a partir do fato de que [a área de] qualquer círculo é igual a um triângulo com base igual à circunferência e altura igual ao raio do círculo, compreendi que, da mesma maneira, [o volume de] qualquer esfera é igual a um cone com base igual à superfície da esfera e altura igual ao raio” Arquimedes (*apud* ASSIS. 2008. p. 38).

Foram muitos os trabalhos de Arquimedes. Na Física ele se dedicou à mecânica, a estática e a hidrostática, definiu os conceitos sobre o movimento retilíneo e circular. Foi ele que estabeleceu o princípio básico que gerou a hidrostática e, além disso, ele produziu vários maquinismos usados na agricultura, saneamento e defesa de seu país que naquele tempo era constantemente atacado pelo império romano.

De acordo com Andery (2012), o pensamento científico dos gregos desenvolveu-se por vários séculos e muitos dos trabalhos foram armazenados no Museu de Alexandria. Todo o navio que ancorava no porto de Alexandria era revistado, numa tentativa de se buscar livros que eram copiados e armazenados na enorme biblioteca do museu, que foi um dos primeiros institutos acadêmicos de que se têm notícias, além de tudo, se tornou o centro mundial de todo o conhecimento adquirido pelo homem até aquela época.

Outros centros foram criados, mas infelizmente os esforços racionalistas sustentados pelo pensamento científico foram combatidos e ofuscados pelas correntes dogmáticas que tentaram explicar a origem da criação numa disputa cruel e sangrenta entre as mais diversas crenças religiosas. A partir do século II observa-se um declínio geral das ciências;

As qualidades requeridas para alcançar o “saber” não são mais a inteligência, o espírito de observação e a objetividade, porém um coração puro, uma fé cega, e – ao menos entre os animadores destas seitas – uma imaginação delirante (MICHEL, 1959, p. 196).

Essa parte da história foi chamada de “Idade das Trevas” e nos desviaremos dela seguindo diretamente aos meados de 1460, quando surge em Florença o jovem Leonardo da Vinci. Seus trabalhos nas Artes, na Medicina e na Física foram de extrema importância para a humanidade. Da Vinci desenvolveu uma abordagem empírica para a Ciência e revelou-se como observador nato da natureza. Capra (2007) destaca que o pensamento sistêmico de Leonardo juntava a arte com a Ciência.

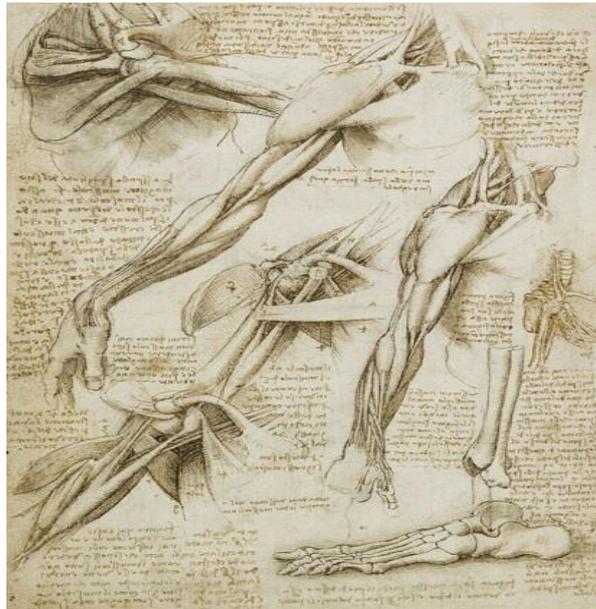


Figura 2: Músculos do ombro e braço e ossos do pé.

Fonte: <http://cienciahoje.uol.com.br/galeria/leonardo-da-vinci-anatomista>

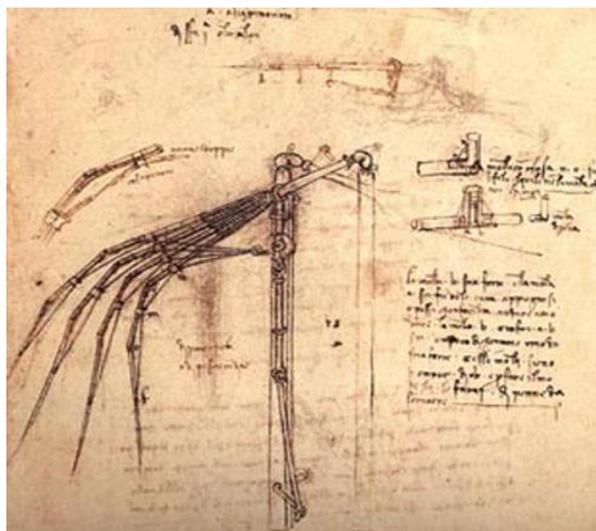


Figura 3: Estrutura mecânica da asa de um morcego.

Fonte: http://www.museotec.org.br/previewmuseologico/leonardo_da_vinci.htm

Quando observamos suas pinturas e seus projetos arquitetônicos, logo nos surge a ideia de que existe certa ligação entre os músculos, tendões e ossos com engrenagens ou alavancas mecânicas;

Inventor brilhante e engenheiro mecânico, Leonardo era capaz de projetar experimentos engenhosos com os recursos mais simples. Por exemplo, grãos de milho ou raminhos de palha, jogados na água corrente ajudavam-no a visualizar e desenhar as formas das linhas de fluxo; bóias especialmente projetadas, suspensas em diferentes profundidades de um rio, permitiam-no medir a velocidade da água em diferentes profundidades e distâncias das margens (CAPRA, 2007, p. 177).

Woods (2010) relata que Leonardo numa tentativa de entender um determinado fenômeno físico ou na intenção de estudar grandezas físicas, criava uma situação modelo na qual podia muito bem ser comparada através de uma analogia com resultados bem aproximados. Um exemplo disso vê-se na figura abaixo, onde Leonardo ilustra o comportamento da água diante de obstáculos, numa tentativa de compreender a “velocidade ou fluxo”.



Figura 4: Obstáculos geométricos para o estudo de correntes de fluido.
Fonte: <http://lebbeuswoods.wordpress.com/2010/12/03/da-vincis-blobs/>

No caso especial sobre a queda dos corpos, Leonardo usou a lei dos triângulos ou a “lei piramidal”, que seria nada mais do que desenhos de triângulos isósceles apresentados em sequência para explicar a progressão aritmética.

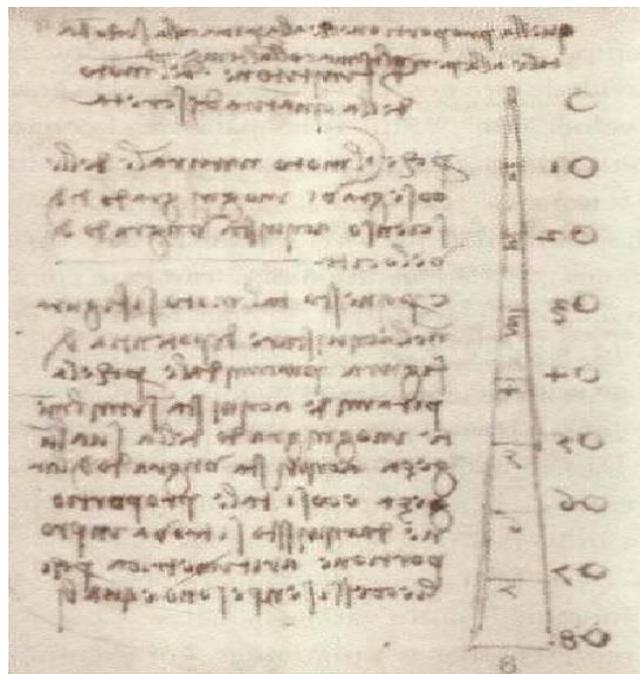


Figura 5: “lei piramidal” de Leonardo da Vinci.
Fonte: <http://dc395.4shared.com/doc/2g6lowHF/preview.html>

Leonardo usou este diagrama de triângulos para ilustrar o aumento da velocidade dos corpos em queda em função do tempo. Podemos enxergar através de suas representações geométricas que a relação entre os corpos e a queda livre estabelece uma equação linear de velocidade com o tempo. Hodiernamente escrevemos que a velocidade de um corpo em queda é uma função linear de tempo, simbolizada por $v = gt$, sendo g a constante gravitacional. Verificamos então nesta passagem que o objeto estudado pelo cientista foi explicado por um análogo conhecido, um desenho como diagrama de relações motoras.

O regresso do pensamento racional é conhecido hoje como o *Renascimento Científico*, entendemos isso como uma revolução intelectual que partiu de grandes homens dispostos a investigarem a natureza. Um destes homens chamava-se Nicolau Copérnico (1473-1543) que em sua obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium* promovera uma ruptura com o sistema ptolomaico (geocentrismo) criando uma nova Astronomia, e consequentemente, uma nova Física.

Copérnico acreditava num Universo harmonioso e perfeito em suas formas, verificamos isso em um trecho de sua obra onde ele defende a esfericidade do Universo por meio de uma analogia:

Compete-nos notar desde o início que o Universo é esférico porque seja esta a forma mais perfeita de todas, um todo inteiro sem qualquer junção de partes; ou porque ela própria seja a mais capaz das figuras maximamente conveniente para encerrar e conservar todas as coisas; ou até porque as partes mais perfeitas do Universo, isto é, o Sol, a Lua e as estrelas, se apresentam com essa forma e porque todo o Universo tende a ser por ele limitado. E isto mesmo se vê nas gotas de água e nos outros corpos líquidos quando revestem a sua forma natural. Pelo que ninguém poderá hesitar em atribuir tal forma aos corpos celestes (COPÉRNICO, 1996, p.17).

Os aristotélicos daquela época acreditavam que o centro imóvel do Universo coincidia com o centro do planeta Terra, um pensamento comum sustentado pelos escritos bíblicos. Uma analogia referente a um navio⁴ em movimento foi usada por Copérnico para refutar essa ideia e sustentar a ideia do movimento de rotação da Terra em relação as estrelas fixas no Universo.

Na verdade quando um navio navega com bonança, tudo que está fora dele parece aos navegantes mover-se pelo reflexo daquele movimento e, por outro lado, pensam que estão imóveis com todos os objetos junto deles. Naturalmente, a mesma coisa acontece com o movimento da Terra de maneira que todo o Universo parece rodar (COPÉRNICO, 1996, p.40).

O nascimento da ciência moderna na Europa foi orquestrado por grandes cientistas um deles foi Johannes Kepler (1571-1630) que participou da revolução científica quando formulou as hoje conhecidas “Leis de Kepler para o movimento planetário”. Não iremos reproduzir aqui tais leis, mas a sua terceira lei sim, pois esta lei carrega uma analogia;

Sua terceira lei saiu quase como seu último refúgio na perfeição e harmonia do cosmo. Era uma proporcionalidade que lembrava a música das esferas, inicialmente pensada por Pitágoras e seus discípulos. A terceira lei pode ser enunciada: ‘o quadrado do período de um planeta é diretamente proporcional ao cubo de seu eixo maior’ (DANHONI NEVES, 2011, p.186).

⁴ A *Analogia do Navio*, foi usada por Copérnico para a explicação do fenômeno de rotação da Terra e posteriormente por Galileu para refutar a ideia aristotélica “lugar natural” das coisas.

Kepler acreditava num Universo mecânico puramente matemático e harmonioso como uma canção. Ele tentou construir um sistema baseado em relações geométricas entre os sólidos pitagóricos cujo já identificamos como sendo analogias.

Outro grande revolucionário das ciências foi Galileu Galilei, nascido em Pisa no dia 15 de fevereiro de 1564, escreveu e desenvolveu diversas obras⁵ científicas. É de se notar que seus esforços em vida foram em pró de uma universalização do pensamento racional e investigador. Seu modo de raciocinar e analisar os problemas gerou um rico repertório de analogias e metáforas.

Em sua obra *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*, Galileu dedicou-se a mostrar seus princípios e teorias diretamente aos membros do clero, das cortes, da burguesia e intelectuais daquela época. Encontramos em Galilei (2004) um diálogo travado entre os personagens; Sagredo que assume um papel irreverente, irônico e disposto à compreensão e a contribuir; Salviati, que é personificado pelo copernicano convicto defensor da Ciência, e por fim, mas não menos importante; Simplicio uma figura fictícia que segue o modelo aristotélico e fundamentos antropocêntricos.

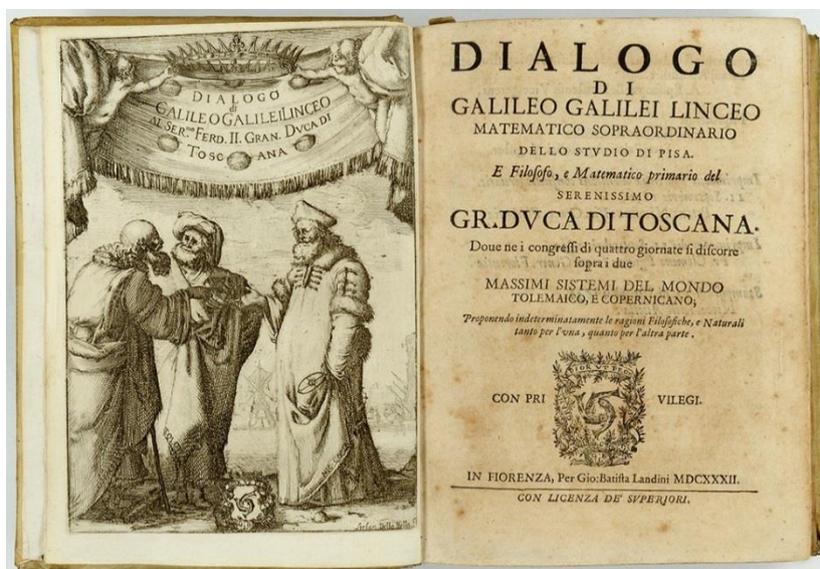


Figura 6: Capa do livro “Dialogo” de Galileu.

Fonte:

<http://www.smu.edu/Bridwell/Collections/SpecialCollectionsandArchives/Exhibitions/ScienceandReligion/GalileoGalilei>

⁵ Principais obras científicas de Galileu: *Sidereus Nuncius* (1610), *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* (1612), *Il Saggiatore* (1623), *Dialogo sopra i due massimi del mundo, ptolemaico e copernicano*.(1632). Rossi (2001).

Os experimentos mentais descritos nesta obra de Galileu podem ser ditos como analogias, justificamos isso pelo fato de que observamos estas comparações. Elas são descritas de forma que os envolvidos imaginem uma situação que lhes possa revelar de forma lógica os novos conceitos. Sabendo disso, Galileu buscou sempre que necessário o auxílio destas analogias, ele fez várias comparações para dar coerência em seus argumentos. Vejamos o experimento mental utilizado pelo personagem Salviati;

Salviati – Todos apresentam como a mais forte razão aquela dos corpos do alto para baixo por uma linha reta e perpendicular à superfície da Terra; argumento considerado incontestável de que a Terra esteja imóvel: porque, quando ela tivesse a rotação diurna, uma torre, de cujo cimo se deixasse cair uma pedra, sendo transportada pela rotação da Terra, no tempo em que a pedra gasta para a sua descida, afastar-se-ia muitas centenas de braças para o oriente e por tanto espaço deveria a pedra percutir na Terra afastada da base da torre [...] (GALILEI, 2004, p. 207).

Este era o pensamento defendido pelos aristotélicos, que acreditavam que os objetos caíam em direção ao centro da Terra. Galileu usa a seguir uma situação vivida por todos na intensão de que imaginem a situação e investiguem os fatos;

Salviati [...] Confirma-se este mesmo efeito com uma outra experiência, ou seja, deixando cair uma bola de chumbo do alto de um mastro de um navio que esteja parado, marcando o lugar onde ela bate, que é próximo a base do mastro; mas, se do mesmo lugar deixar-se cair a mesma bola, quando o navio estiver em movimento, sua batida será afastada da outra por tanto espaço quanto o navio adiantou-se durante o tempo de queda do chumbo, e isto simplesmente porque o movimento natural da bola posta em liberdade é por liberdade em direção ao centro da Terra (GALILEI, 2004, p. 207).

Este experimento mental utilizado por Galileu relembra a lei aristotélica da queda dos graves, em seguida ele defende com a mesma *analogia do navio* o sistema copernicano que comprova o movimento de rotação da Terra. Galileu através das palavras de seu melhor interlocutor dissolve a objeção aristotélica que tenta manter o antigo sistema de mundo.

Salviati [...] sem que se chegue jamais a alguém que a tenha feito; porque qualquer um que a fizer, encontrará que a experiência mostra totalmente o contrário do que está escrito; ou seja, mostrará que a pedra cai sempre no mesmo lugar do navio, esteja ele parado ou movendo-se com qualquer velocidade (GALILEI, 2004, p. 226).

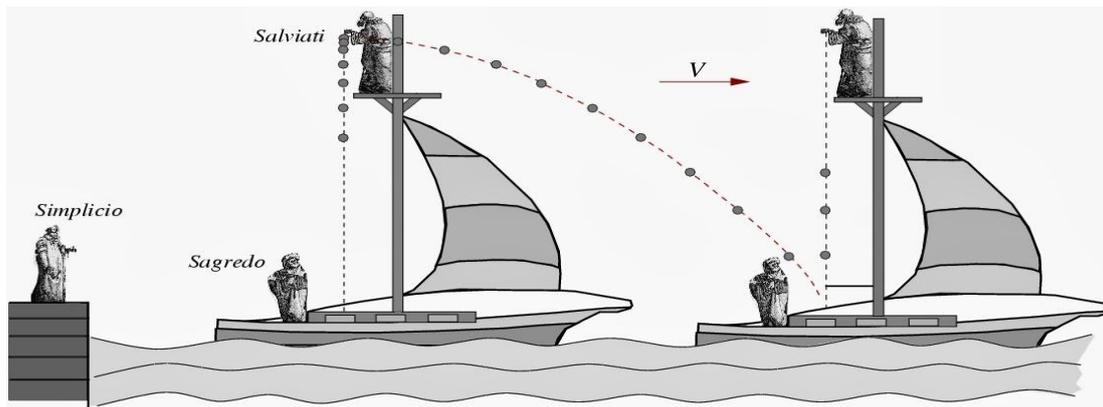


Figura 7: A “Analogia do navio” usado por Galileu.

Fonte: <http://reflexoesnoensino.blogspot.com.br/2013/10/relatividade-de-galileu.html>

Seguindo adiante no *Diálogo*, verificamos uma passagem em que Salviati lança o questionamento sobre o problema do poço, que consiste na investigação daquilo que aconteceria se uma bala de artilharia fosse solta através de um poço que atravessasse toda a Terra, partindo de um lado passando pelo centro e chegando ao outro.

Este tipo de experimento não poderia ser realizado pelos participantes, e nem muito menos por nós nos dias atuais, porém, é uma situação de fácil imaginação e de extrema importância para o ensino de Física já que as noções de conservação da Energia Mecânica e Movimento Harmônico Simples são invocados e explicados pelo movimento de “vai e vem” que caracteriza essa analogia.

Galileu, assim como Leonardo, também usou a geometria para a explicação dos movimentos de queda e aceleração dos graves, através da figura de um triângulo Galileu explicou o movimento acelerado invocando noções de integração geométrica.

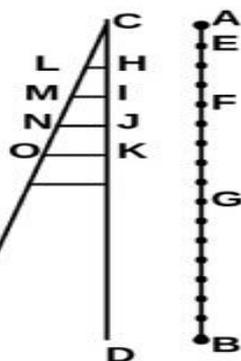


Figura 8: Diagrama “lei dos números ímpares consecutivos.”

Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172012000400023&script=sci_arttext

Tempo de queda	Espaço percorrido
1	1
2	$1 + 3 = 4$
3	$1 + 3 + 5 = 9$
4	$1 + 3 + 5 + 7 = 16$

Quadro: lei dos números ímpares consecutivos de Galileu

Fonte: Danhoni Neves em TOMAZELLO (2000) p.66.

Em seu discurso, Galileu vai mais longe e chega até a “lei dos números ímpares consecutivos”, que na qual foi através de uma situação experimental análoga ao plano inclinado, que tem seu o ângulo de inclinação elevado à 90° , conseqüentemente uma queda livre na vertical é facilmente imaginada quando solta-se um corpo em queda, e se diminuísse o ângulo automaticamente o tempo de queda seria aumentado. De acordo com Tomazello (1996), foi pensando desta forma que Galileu chega à conclusão de que o espaço percorrido por um corpo em queda livre seria proporcional ao seu tempo ao quadrado.

Porém existia o problema de se medir o tempo naquela época, isso levou Galileu a desenvolver o mecanismo de pêndulo baseado em sua lei da queda dos graves. Danhoni Neves (1996, p. 65) relata que “O relógio pêndulo de Huygens foi desenvolvido e construído somente em 1673, muito tempo depois da morte de Galileu em (1642)”.

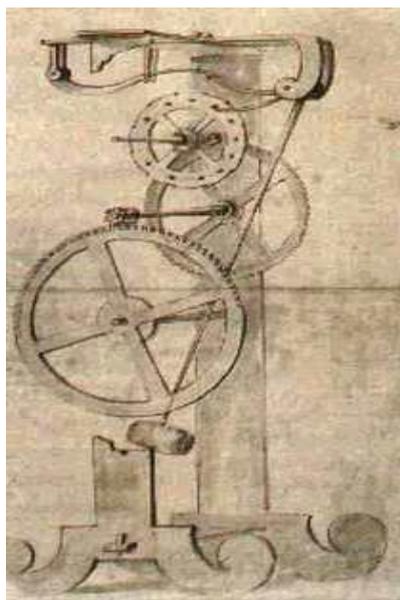


Figura 9: Relógio pêndulo Galileu

Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/movimento-harmonico-simples-6.php>



Figura 10: Réplica do Relógio pêndulo Huygens, construído com base na descoberta de Galileu.

Fonte: <http://estacaochronographica.blogspot.com.br/2009/07/exposicao-galileu-patrocinada-pela.html>

Galileu destaca novamente a situação do barco, aquela *analogia do navio* utilizada por Copérnico em seu *De Revolutionibus*, na intenção de fortificar a noção de movimento de rotação da Terra;

Salviati [...] A experiência da embarcação afasta abundantemente qualquer dificuldade de poder ser externo: e digo abundantemente, porque, podendo, a qualquer momento, fazê-la mover-se ou também fazê-la parar e com muita acuidade observar se por alguma diferença, que possa ser compreendida pelo sentido do tato, podemos perceber se ela se move ou não, vendo que até agora não se adquiriu tal conhecimento, por que então se surpreender se o mesmo fenômeno nos é desconhecido na Terra, a qual nos pode ter perpetuamente levado sem jamais podermos experimentar o seu repouso? Acredito que vós Sr. Simplício, pelo que penso, fostes mil vezes a Pádua em embarcações, e se quiserdes confessar a verdade, nunca sentistes em vós a participação daquele movimento, a não ser quando a embarcação, batendo na areia ou esbarrando em algum obstáculo, parou, e que vós juntamente com os outros passageiros, colhidos de surpresa, precipitaram-se com grande perigo. Seria necessário que o globo terrestre encontrasse algum obstáculo que o parasse, porque vos asseguro que, então, vos aperceberíeis do ímpeto que reside em vossa pessoa, enquanto fosse arremessado por esse ímpeto para as estrelas (GALILEI, 2004, p. 337).

O movimento do barco é insensível para aqueles que estiverem viajando junto à embarcação. Se lançarmos nossos olhares para os modelos de embarcações do passado verificamos o tipo de situação em que nossos personagens estão inseridos. Por muito

tempo o principal meio de locomoção para longas viagens foram as marítimas e para os leitores do *Diálogo* logo lembrar-se-iam de que exceto as ondas do mar que causam um balanço harmônico no barco, é difícil perceber a movimentação ou um deslocamento do barco, pois, os objetos dentro do barco são vistos em repouso. Verificamos aqui o uso da visão, pois para comprovar o movimento do barco deve-se adotar um referencial em repouso no oceano.

A analogia faz esta comparação com o movimento de rotação planeta Terra, é evidente que os seres que habitam o globo terrestre não conseguem perceber este movimento assim como os ocupantes do barco em movimento, porém, quando o barco altera a sua velocidade por qualquer motivo, isto sim é percebido, no entanto, uma catástrofe aconteceria se a Terra resolvesse parar de girar ou mudasse sua velocidade de rotação.

As analogias utilizadas por Galileu tornaram-se cruciais para o debate científico. As situações descritas acima promoveram o debate entre os envolvidos levando-os a investigar a fenomenologia a partir daquilo que já era conhecido dos personagens. Do mesmo modo fez René Descartes no seu tratado *La Géométrie* (1637) onde ele procura novos meios para a representação do movimento. De acordo com Rossi (2001) os sistemas cartesianos que usamos hoje para a localização de uma partícula no espaço junto com a construção dos conceitos de *quantidade de movimento e inércia*, floresceram do gênio de Descartes. Um dos seus principais argumentos sobre a tendência do corpo em seguir em uma linha reta são sustentados por uma analogia:

A sua segunda “lei da natureza” afirma que “cada corpo que se move tende a continuar o seu movimento em linha reta” (Descartes, 1967: II, 94-98). Derrubando as impositões de Copérnico (e de Galilei), Descartes afirma que “qualquer parte da matéria, no seu particular, jamais tende a se mover conformes linhas curtas, mas em linha retas” e que “ todo corpo que se move é determinado a se mover conforme uma linha reta e não conforme uma linha circular”. No movimento circular se revela uma tendência “a se afastar constantemente” do circulo que é descrito: este fenômeno “inclusive conseguimos sentir com a mão, no momento em que fazemos girar esta pedra nesta funda” (DESCARTES, 1967 *apud* ROSSI, 2001, p. 202).

Este exemplo usado por Descartes nos revela que uma analogia não é limitada apenas ao sentido da visão. Isto é, se quisermos comprovar a tal tendência da pedra em sair pela tangente, necessitamos sentir a força de tração imposta nas mãos. Isso pode ser bem útil quando desejarmos trabalhar com outros sentidos na construção de analogias.

Não podemos deixar de citar neste trabalho o pensamento do erudito Giordano Bruno que nasceu em 1548 e morto em 1600 pela Igreja Católica, que o acusou de apostasia, heresia, copernicanismo, blasfêmia e conspiração contra a Igreja e contra o papa. A Igreja temia uma nova revolução, assim como a luterana que alcançava inúmeros adeptos, o pensamento de Bruno alimentava e incentivava a livre escolha de religião e uma convivência pacífica entre elas. Para Bruno não existia um Deus criador observador fora deste sistema, e sim um Deus envolvido e integrado a natureza.

Giordano Bruno debruçou-se na atividade intelectual, suas concepções sobre um Universo infinito encontram-se na sua magnífica obra *De L'Infinito, Universo e Mondi*. Escrito após ser excomungado pela igreja Luterana de Helmstadt por volta de 1589. A obra também é construída na forma de diálogo, e os interlocutores são Elpino um estudante, Filóteo é representado por Bruno no debate, Fracastório é um poeta e autor do livro de Astronomia Homocêntrica, Búrquio que acredita fielmente nos conceitos aristotélicos e por último no quinto diálogo encontramos a inclusão de mais um interlocutor, Albertino que possivelmente seja algum personagem histórico admirador das ideias de Bruno, mas isso ainda não foi oficialmente comprovado.

Vejamos um trecho de seu Segundo Diálogo quando o personagem Filóteo utiliza uma analogia por simples comparação para sustentar os seus argumentos;

Fil. [...] não há, portanto, um peso infinito, mas infinitos pesos infinitos, de forma que essa infinidade não é com um todo contínuo, mas constituída de partes que existem em um infinito contínuo, que é o espaço, o lugar e a amplitude, capaz de conter todas as partes [...] como infinitas águas não fazem uma terra infinita, de modo que existem em numero infinitos corpos, que não compõem fisicamente um corpo de grandeza infinita. Isso é muito diferente, e de forma análoga pode ser visto na tração de um navio que pode ser arrastado por dez pessoas juntas, mas não conseguirá nunca ser puxado por milhares de pessoas separadamente, uma de cada vez (BRUNO, 2007, p. 63).

Apesar de nos parecer menos comprometedor, o argumento usado por Bruno é equivalente ao que estudamos até aqui, ou seja, analogias e metáforas sendo usadas no tratado sobre a natureza. O debate filosófico promovido por Bruno persiste até hoje, infelizmente a cosmologia atual, motivada por aquilo que melhor se encaixa num modelo criacionista, aceita um Universo em expansão, que segundo a teoria possui um determinado tamanho e cresce violentamente desde a grande explosão.

Para finalizarmos a nossa abordagem histórica, analisamos uma das maiores obras já escrita pelo homem no ramo das Ciências. O livro *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, escrito por Isaac Newton (1642-1727), contém algumas analogias que merecem serem estudadas, porém, para a presente discussão, daremos atenção a apenas uma. Estamos nos referindo ao Experimento do Balde de Newton.

[...] Se um recipiente, suspenso por uma longa corda, é tantas vezes girado, a ponto de a corda ficar fortemente torcida, e então enchido com água e suspenso em repouso junto com a água; a seguir, pela ação repentina de outra força, é girado para o lado contrário e, enquanto a corda desenrola-se, o recipiente continua no seu movimento por algum tempo; a superfície da água, de início, será plana, como antes de o recipiente começar a se mover; mas depois disso, o recipiente, por comunicar gradualmente o seu movimento à água, fará com que ela comece nitidamente a girar e a afastar-se pouco a pouco do meio e a subir pelos lados do recipiente, transformando-se em uma figura côncava (conforme eu mesmo experimentei) [...] (NEWTON, 1687 *apud* ASSIS, 1998, p.45).

Como afirma Assis (1998), este foi um dos mais importantes experimentos realizado por Newton, não só porque assume extrema importância junto à mecânica clássica, mas devido ao fato de levantar um polêmico questionamento: A água que sobe pelas paredes do balde, gira em relação a que?

Poderíamos pensar que a água sobe pelas paredes do balde em relação à Terra, mas Newton mostra em seus estudos que quando a água está girando, ou quando esta parada, a única força que atua é a força peso. Então, se imaginarmos que a água sobe pelas paredes do balde em relação ao Universo, vê-se que, segundo o próprio Newton, uma soma de todas as forças existentes entre os planetas, as estrelas e as galáxias existentes, se anula umas as outras. A conclusão de Newton foi que água sobe pelas paredes do balde em relação ao espaço absoluto, ao espaço vazio sem nenhuma matéria.

Existem muitas especulações sobre estas conclusões de Newton, contudo, se quisermos seguir adiante nesta discussão, podemos começar pela obra *Mecânica Relacional* de Assis (1998), citada acima, por hora, queremos apenas mostrar que a analogia utilizada por Newton, promove uma imensa discussão sobre o conceito de espaço absoluto.

Em nossa viagem temporal, nos debruçamos sobre as mais importantes obras da Ciência. Todos os cientistas que completaram a nossa pesquisa até aqui, revelaram-se importantíssimos para o desenvolvimento de novos conceitos científicos.

3 EXEMPLOS DIDÁTICOS DE ANALOGIAS PARA O ENSINO DE FÍSICA.

Nesta parte faremos a reprodução e a construção de alguns exemplos de analogias e metáforas, sejam elas vividas pelo autor deste trabalho ou retiradas de livros textos ou até de manuais de ciências de autores como Nussenzveig (2002) e Hewitt (2011), utilizados atualmente no ensino de Física e escolhidos ao acaso.

Não queremos redefinir os conceitos, mas sim, verificar quais seriam as analogias e metáforas utilizadas atualmente no ensino, assim como, produzir material de apoio para o uso futuro e aperfeiçoamento dos modelos apresentados.

Novamente o resgate histórico pode ser colocado, pois, é através dele que conseguimos nos enxergar diante dos problemas enfrentados pelos homens que dedicaram as suas vidas para o progresso e o desenvolvimento da Ciência.

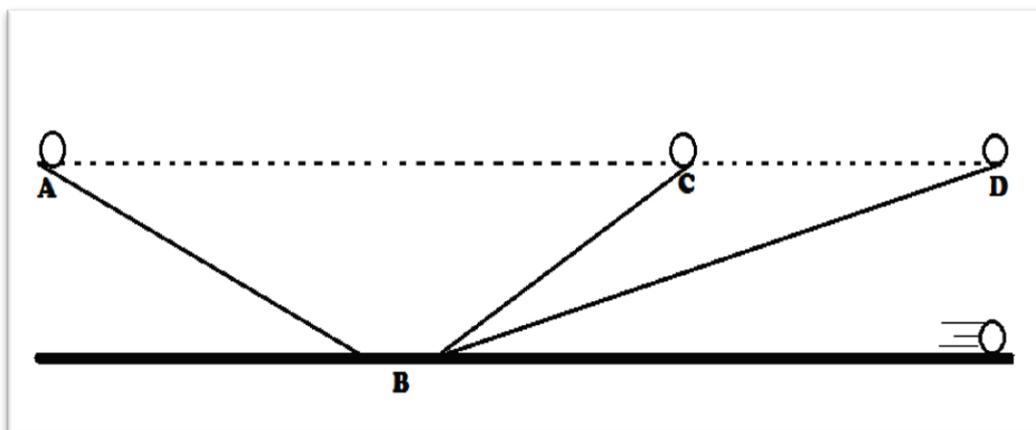
3.1 Conceito de Inércia

O conceito de inércia, formulado pela primeira vez por Galileu, é difícil de ser observado ou comprovado numa situação real. Num laboratório de Física experimental tenta-se idealizar a situação com ajuda do trilho de ar. Se tomarmos como referência a analogia do plano inclinado utilizado por Galileu nos *Diálogos*, teremos uma ótima situação para a investigação do conceito.

Situação 1 - Imagine que uma esfera de metal de aproximadamente 500 gramas é solta em um plano inclinado A, quando esta esfera desce esta inclinação ela aumenta a sua velocidade, passando por um plano horizontal B até atingir outro plano inclinado C que estaria de frente ao outro plano inclinado A.

Quando a esfera começa a subir o plano inclinado C, ela começa a diminuir a sua velocidade e retorna em direção à origem de lançamento, ou seja, o topo do plano inclinado A, caracterizando um movimento de “vai e vem” entre os planos inclinados A e B. Esta esfera vai diminuindo a sua velocidade até atingir o repouso em consequência ao atrito da bola com a superfície, por outro lado, se minimizado os efeitos do atrito polindo as superfícies, verificará que o movimento persiste por muito mais tempo. Numa outra situação, pede-se para diminuir o ângulo do terceiro plano D até que coincida com o plano horizontal B, se as superfícies estiverem bem polidas e livres do

atrito, o movimento persistirá até os limites do plano horizontal B, e se este plano for infinito o movimento também tenderia ao infinito.



*Figura 11: Experimento do plano inclinado de Galileu.
Fonte : Acervo do autor.*

O velho truque da toalha, muito usado em apresentações circenses, também pode nos fornecer um bom exemplo de analogia.

Situação 2 - Imaginem uma mesa coberta por uma toalha, em cima desta mesa existem alguns objetos como: pratos, copos, talheres e garrafas. Se puxarmos a toalha levemente na direção ao chão, observamos que os objetos entram em movimento, podendo até cair, porém, se puxarmos subitamente esta toalha para baixo, os objetos tendem a permanecer imóveis em cima da mesa. Existe algum truque nisso?

Este fato acontece porque não dá tempo da toalha transmitir a força de atrito para os objetos devido ao movimento rápido do “puxão”. Esta propriedade dos corpos de resistir às alterações no movimento é chamada de Inércia. Na ausência de uma força resultante, um objeto tende a manter o seu estado de movimento retilíneo uniforme ou de repouso. Esta é a Primeira lei de Newton.

3.2 Conceito de força como grandeza vetorial

Situação 3 - Um automóvel estraga na rodovia e seus ocupantes precisam tirá-lo da autoestrada para que não haja um acidente. Para que o carro entre em movimento mais facilmente, todos devem aplicar a força na mesma direção e sentido. Seria muito mais difícil mover o automóvel se os seus ocupantes tentassem aplicar as suas forças em

sentidos e direções diferentes, e é justamente por isso que dizemos que a força é uma grandeza vetorial, possuindo módulo, sentido e direção.

3.3 Força centrípeta

Encontramos em Rossi (1997) uma analogia usada por René Descartes em uma de suas tentativas para explicar a tendência dos corpos em seguir uma linha reta quando, postos em movimentos e livres de forças externas. Trata-se do exemplo da funda⁶. Usaremos esta mesma analogia, porém, para explicar o conceito de força centrípeta;

Situação 4 - Uma pedra amarrada com um pedaço de barbante é colocada pra girar com velocidade v constante. A força F que traciona a pedra permite mantê-la em movimento circular uniforme, aponta para o centro da trajetória circular descrita pela pedra e coincide com a tração da corda sobre a pedra. Esta força, chamamos de Força Centrípeta.

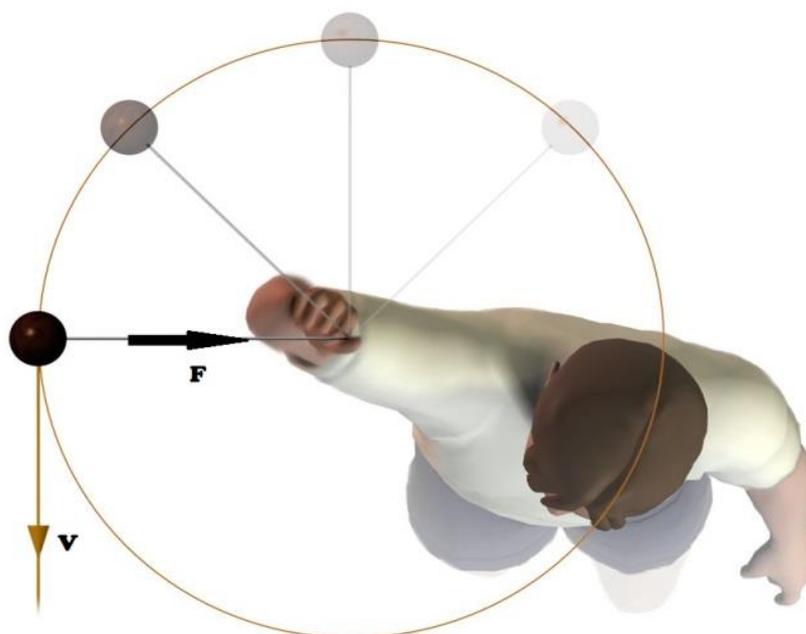


Figura 12: Experimento da funda citado por Descartes.
Fonte: http://nautilus.fis.uc.pt/astro/hu/gravi/uma_forca.html

⁶ Uma funda é uma arma de arremesso, constituída de uma corda ou uma tira de couro onde no seu centro é colocado uma pedra ou o objeto que se deseja arremessar.

3.4 O movimento de precessão

A analogia usada para explicar este fenômeno, é frequentemente utilizada por professores em sala de aula e também autores como Nussenzveig (2002).

Este efeito é somente um dos movimentos que o planeta Terra possui. O eixo de rotação da Terra aponta para a estrela Polaris (referencial), o eixo de rotação mantém um ângulo constante de aproximadamente 24° com normal ao plano da eclíptica. Num período de 26.000 anos ele descreve um cone em volta desta normal, análogo ao movimento de um pião, quando gira rapidamente em torno do seu eixo.

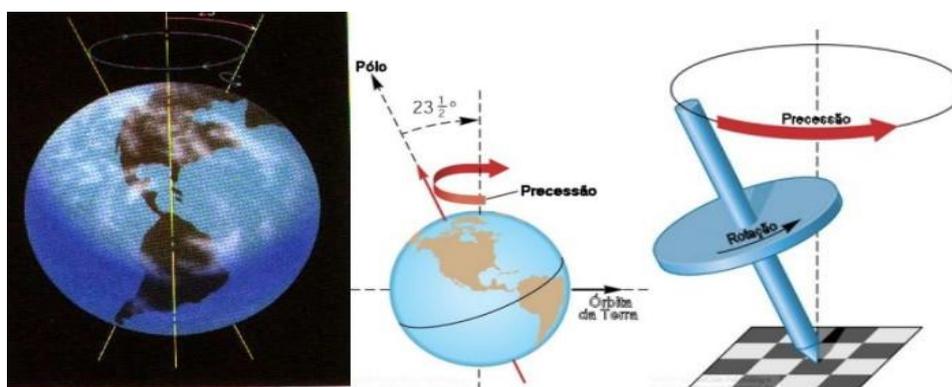


Figura 13: Movimento de precessão.

Fonte: <http://aprovadog.blogspot.com.br/2011/05/6-ano-semana-7-2905-0406.html>

3.5 – Quantidade de movimento

De acordo com Tomazello 1996, as primeiras noções sobre quantidade de movimento surgiram em Descartes, que acreditava que a causa do movimento estaria associada a “força” que por sua vez, seria o resultado do produto $m.v.$ (massa vezes a velocidade), porém sem análise vetorial.

Para entendermos o conceito chamado de “momentum” ou quantidade de movimento, ou então Momento Linear, como é chamado num curso de graduação em física, imaginemos a seguinte situação:

Situação 5 - Considere duas esferas de metal com a mesma massa de 300 gramas cada uma. Se desejarmos colocar estes objetos em movimento, verificaremos que a

dificuldade é a mesma para as duas. A dificuldade ou o esforço físico que teremos para pará-las será o mesmo quando estiverem com suas velocidades iguais. E se mudarmos as velocidades? A resposta é certa de que a bola que estiver com a maior velocidade será mais difícil de pará-la. E se as velocidades de ambas forem iguais, entretanto uma das esferas possuir 500 gramas e a outra 300 gramas? O objeto que tem maior massa é mais difícil de ser parado, por isso, a nossa intuição nos diz que seria mais difícil parar a bola com maior massa. E se considerarmos diferentes massas e diferentes velocidades? Qual das duas seria mais difícil parar ou colocar em movimento, a esfera que possui maior massa e uma velocidade menor, ou a outra esfera que tem menor massa, e maior velocidade?

Fazendo este questionamento promoveremos um bom debate. Contudo verificaremos que a relação entre as grandezas massa e velocidade, esta intimamente ligada ao conceito de quantidade de movimento ou como queiram, momento linear. É importante frisar que pelo menos para esse caso, deixamos de lado a análise vetorial.

3.6 Conservação do momento linear

A lei da conservação nos permite analisar as particularidades de diversas situações presentes em nosso dia a dia. As colisões entre corpos e os movimentos de diversos corpos, podem servir de exemplos análogos bem práticos.

Situação 6 - O movimento de um barco a remo funciona da seguinte maneira: Com o auxílio dos remos a água é empurrada para trás e com isso o barco se desloca para frente. Quanto mais água for empurrada para trás mais rapidamente o barco se desloca para frente e quanto maior a velocidade que a água é empurrada para trás, maior será a velocidade do barco para frente. Os barcos movidos há motor deslocam mais água para trás, isso é devido ao alto giro das hélices que ficam numa das extremidades abaixo da embarcação.

A partir do século XIX quando as máquinas deram novos rumos à economia mundial, o trabalho braçal foi aliviado graças aos conceitos estudados pela Ciência. As leis de conservação assumem um papel importante nos ramos da Termodinâmica, afinal, é devido à utilização destas leis que se deram origem as primeiras máquinas a vapor que

impulsionaram a revolução industrial. Uma vivência deste conteúdo pode ser buscada diretamente nos registros históricos.

Situação 7 - Tente imaginar agora um carro antigo de três rodas, daqueles movido à vapor, na qual uma fornalha e uma caldeira produzem os vapores que pressionados impulsionam dois pistões localizados sobre a roda da frente. Os pistões movimentam as rodas como se fossem “duas pernas” que pedalam uma bicicleta, estas “duas pernas” estariam posicionadas fora do eixo central, bem similar ao sistema de tração de um trem. Porque este carro anda? O que está acontecendo dentro da fornalha?



Figura 14: Carro movido à vapor de Cuognot 1765.

Fonte: <http://www.colegioweb.com.br/trabalhos-escolares/2-ano/sobre-quatro-rodas.html>

A fornalha aumenta a temperatura da água dentro da caldeira, ou melhor, a energia cinética das moléculas de água aumenta com o seu aquecimento. O movimento desordenado das moléculas dentro do reservatório de vapor pode ser visto como oscilatório, um movimento de “vai e vem” quando a molécula muda seu sentido e sua direção, no momento da mudança ela tem sua velocidade anulada e quando ela passa pelo centro de oscilação a velocidade é máxima. No momento em que a velocidade é zero, ou seja, no momento em que a molécula ou átomo estaria voltando do seu movimento de “vai e vem” temos a maximização da energia potencial, isso ocorre por causa da conservação da energia total do sistema. Esta é a primeira Lei da Termodinâmica, enunciada da seguinte forma: “a energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada”.

3.7 – Energia potencial gravitacional

Sabemos pela lei da gravitação universal que a Terra exerce em um corpo uma força que é proporcional a massa deste corpo, dirigida para o centro da Terra. Quando desejamos levantar um corpo do chão, aplicamos uma força sobre ele. Esta força deve ser no mínimo igual ao peso deste corpo, a princípio, a força deve ser maior para vencer a força peso. Quanto mais alto desejamos posicionar o corpo do chão, maior será a energia aplicada sobre ele. Chamamos esta energia de Energia Potencial Gravitacional, que depende da altura do corpo em relação ao solo, da massa do corpo e da constante gravitacional. A energia potencial é armazenada num corpo conforme o aumento da altura em relação ao solo e quando este corpo cai em direção ao solo, toda energia ou o trabalho que se realizou sobre ele é transformada ou devolvida para o sistema.

3.8 Energia cinética

A energia cinética está associada ao movimento relativo entre a matéria. Sendo assim, podemos pensar que a energia cinética do vento é depositada nas velas de um barco provocando o movimento do barco em relação ao mar. O movimento da caravela depende da velocidade do vento e da quantidade de massa de ar que tocam as velas.

3.9 Órbita circular de satélites

O movimento de satélites foi discutido por Isaac Newton em *O Sistema do Mundo*. Ele supôs que a Lua era um satélite que orbitava o planeta Terra sob a atração de uma força gravitacional. Reproduziremos a seguir a analogia usada por Newton para explicar o fenômeno.

Situação 8 – Considere uma montanha que alcança a altura da atmosfera terrestre. No topo desta montanha, encontra-se um canhão de artilharia com grande poder de lançamento. Desprezando a resistência do ar, um projétil é lançado com uma velocidade tal que o alcance deste projétil não chegue mais que alguns quilômetros da base da montanha. Por outro lado, se a bala de canhão fosse lançada diversas vezes com velocidades cada vez maior, qual seria o alcance deste projétil?

Se a bala de canhão for disparada com uma velocidade cada vez maior, o alcance deste projétil seria cada vez maior. E se a velocidade de lançamento for aumentada de tal forma que o alcance deste projétil seja tão grande quanto o limite do planeta, este projétil atingiria uma velocidade de escape e circularia o globo indefinidamente entrando em órbita. Este fato está relacionado à Terceira Lei de Newton, ou seja, a força responsável pela queda da bola na Terra é a mesma que à mantem no espaço.

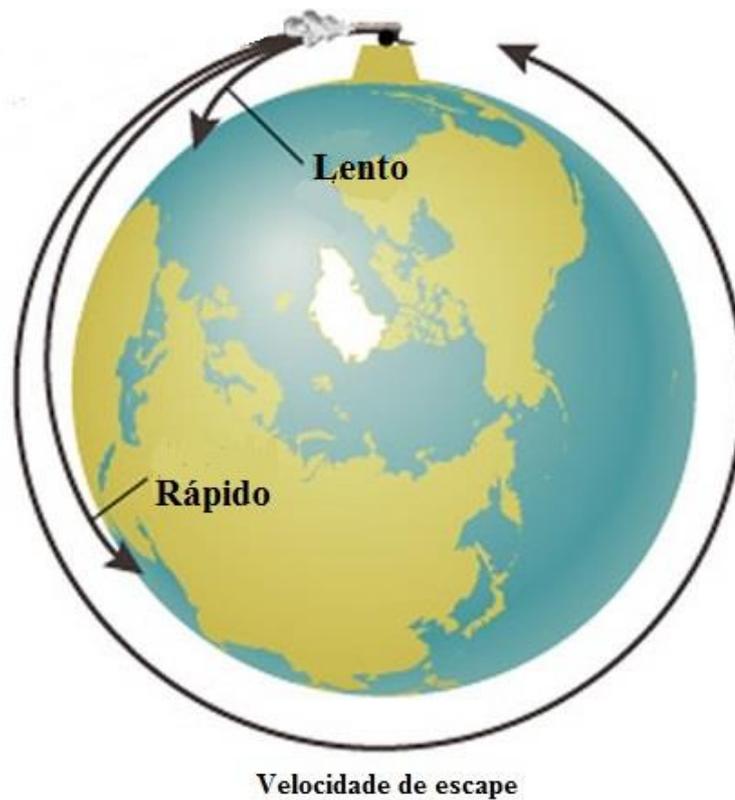


Figura 15: Experimento do canhão de Newton.

Fonte: <http://astronomy.nmsu.edu/tharriso/ast105/Ast105week04.html>

3.10 Primeira lei da Termodinâmica

A construção de exemplos para explicar a Primeira Lei da Termodinâmica, pode surgir se considerarmos a interação das moléculas numa escala microscópica. Este universo molecular, não pode ser enxergado a olho nu, por isso precisamos de equipamentos de análises microscópicas. Porém, nem todo o lugar tem um aparelho de micromedição disponível, contornamos este problema analisando-o de outra forma, ou seja, se não podemos enxergar aquilo que acontece dentro de uma caldeira, ou dentro de um motor a vapor, podemos ver os seus efeitos e relacioná-los com uma analogia.

Situação 9 – Quando colocamos leite até a metade de uma panela e levamos ao fogo de um fogão de cozinha, após um tempo de aquecimento, o leite começa a ferver e atinge um volume maior do que quando estava com menor temperatura. Vemos que o leite transborda da panela se continuar a aquecer. O que faz o leite transbordar da panela? Como medimos a sua energia interna?

Uma descrição do que estaria acontecendo pode ser feita através da conservação de toda a energia existente no sistema. Se levarmos em conta apenas a energia cinética e a energia potencial de todos os átomos e moléculas, teremos oscilações desordenadas e um aumento destas oscilações é comprovado quando se fornece energia ou calor a este sistema. Verificamos que a energia interna do sistema aumenta, existe um ganho de trabalho, ou seja, a energia interna do sistema é igual ao calor mais o trabalho que se ganha no processo. O contrário a isso nos leva a considerar que a perda de energia interna está relacionada ao calor menos o trabalho que se perde. Consideramos que o grau de agitação das moléculas dentro de um reservatório está intimamente ligado a energia interna deste reservatório.

3.11 Força elétrica

A Eletrostática é apresentada aos estudantes no conjunto de estudos da Física III, diante disso, muito daquilo que já foi visto em outros ramos da Física, serviu de prelúdio para uma construção mais abstrata, neste caso, a Eletricidade. Um exemplo disso que estamos falando, encontramos em Hewitt (2011), onde a Força Gravitacional pode muito bem ser comparada com a Força Elétrica ou como se conhece, pela Lei de Coulomb.

Situação 10 – Considere uma força universal, assim como gravidade, que varia inversamente com o quadrado da distância, porém, como uma intensidade muito maior. Se esta força fosse apenas atrativa, o Cosmo que conhecemos estaria comprimido em um único ponto, toda a matéria do Universo seria atraída e comprimida para um único ponto. Agora, se considerarmos uma força universal apenas repulsiva, toda a matéria que constitui o nosso Universo estaria repelindo-se de forma perpétua, descrevendo uma desordem, um caos, como se fosse um gás. Mas se considerarmos uma mesma quantidade de força atrativa e repulsiva o que aconteceria?

De imediato concluímos que teríamos o equilíbrio entre as forças.

3.12 Campo elétrico

Situação 11– Se considerarmos uma carga elétrica pontual, imóvel no vácuo, o campo desta carga pode ser percebido por outra carga, da mesma forma que percebemos o cheiro de um perfume que emana de dentro do frasco quando abrimos a sua tampa. Não podemos ver o cheiro, mas podemos senti-lo. O nosso olfato sente o perfume porque se aproxima do “campo do cheiro”, assim com um campo elétrico de carga positiva ou negativa. Dizemos que uma carga experimenta o campo na medida em que se aproxima deste campo carregado de cargas positivas ou negativas. Todavia, se considerarmos mais de duas cargas, e desejarmos obter o campo elétrico resultante, deve-se discutir com os alunos o conceito de superposição.

3.13 Fluxo de carga elétrica e corrente elétrica

Encontramos em Hewitt (2011) que o fluxo de carga acontece quando existe uma diferença de potencial entre as extremidades de um condutor elétrico. A situação é análoga ao fluxo de água que flui de um reservatório colocado em um local mais alto, para um reservatório colocado em um local mais baixo. Existe uma diferença de altura entre os tanques de água, e conseqüentemente, uma diferença de pressão. A água flui da extremidade onde a pressão é alta para aquela onde a pressão é baixa. É importante frisar que em um circuito hidráulico, não é a pressão que flui, e sim, as moléculas de água impulsionadas pela diferença de pressão. Da mesma forma acontece nos terminais de um condutor elétrico, a carga elétrica flui por causa da diferença de potencial. Não é a voltagem que flui, e sim, as cargas motivadas pela diferença de potencial.

A transferência de energia principalmente a elétrica por vezes é difícil de imaginar. Uma alternativa seria explicar estes conceitos através de outra analogia. Na termodinâmica, existe uma corrente térmica ou fluxo de calor por causa da diferença de temperatura. Na transmissão de calor por condução, a energia é transmitida através do choque entre os átomos que constituem um corpo. Regiões de alta temperatura possuem um número maior de elétrons livres. O deslocamento de elétrons livres é comum nas duas situações, ou seja, a transferência acontece quando existe uma diferença de potencial.

4. CONCLUSÃO

Encontramos em nossa pesquisa bons exemplos de analogias e metáforas desde a mitologia dos Órficos até a mecânica de Newton. Estes pensadores, responsáveis pelos muitos dos questionamentos sobre o Universo e que promoveram as grandes revoluções científicas, são alguns dos antigos pensadores e cientistas do passado que usaram analogias e metáforas em seus discursos. Muito dos fenômenos e conceitos físicos, foram compreendidos por meio de comparações lógicas entre o alvo, objeto de estudo e o análogo, situação dentro do domínio da compreensão do indivíduo. Verificamos então, o uso de figuras de linguagem no debate científico nos mais diversos pontos da história, além disso, verificamos que estas figuras de linguagem assumiram um papel importante na edificação da Ciência. Enfim, encontramos na História que, a estrutura da Ciência fortificou-se através de argumentos lógicos e coerentes, quase sempre esclarecidos ou exemplificados por situações vividas ou de fácil imaginação elucidados pelas analogias ou metáforas.

Conseguimos observar que, quando se tem uma boa compreensão, pelo menos até a mecânica clássica, conseguimos excelentes comparações futuras. A explicação de alguns fenômenos abstratos pode partir daquilo que o aluno já conhece ou domina. Um conceito pode ser explicado utilizando outro conceito chave que já foi previamente compreendido pelo aluno. Neste contexto, pode ser usada a comparação entre a mecânica real observável e a mecânica virtual abstrata, que por muitas vezes torna-se difícil de ser imaginada.

Com o auxílio de analogias pegamos um atalho no caminho da compreensão dos fenômenos. Tendo isso em mente, buscamos então alguns indícios de comparações

entre situações usadas hoje no ensino de física. Encontramos algumas situações bem típicas, como por exemplo; a analogia usada para explicar a força elétrica, onde se buscou um “análogo mecânico”, que nesse caso seria a força gravitacional, que supostamente já fora compreendida pelo aluno.

Um conceito chave já conhecido, pode ser utilizado para a compreensão de outro conceito desde que haja uma ligação lógica entre eles. Muitos dos conceitos e a fundamentação lógica da ciência necessitam do exercício da imaginação. O mergulho no universo virtual pode partir através do uso de comparações entre o observável e o imaginário. Importante lembrar que se deve preparar bem o terreno antes de utilizar este “análogo mecânico”, ou seja, o professor deve ter certeza de que todos os alunos tem conhecimento do conceito chave que será utilizado como analogia.

O debate em ciências exige diversos meios de aproximação, toda a metodologia disponível deve ser incorporada ao ensino e aprendizado. Uma analogia ou metáfora isolada, por muitas vezes não é o suficiente para promover o entendimento de um determinado assunto, o professor deve observar se todos os alunos tem o conhecimento da comparação usada e se for preciso, mais de uma analogia deve ser utilizada.

Outro aspecto que devemos considerar é de que antes de usar uma determinada analogia ou metáfora o professor deve certificar-se de que todos os alunos envolvidos no debate tem conhecimento da situação análoga usada para exemplificar o problema estudado.

Devem-se considerar também diferentes estratégias de comunicação. Uma figura de linguagem, sempre que possível, deve ser associada a um experimento, um desenho, um vídeo ou qualquer outro meio que favoreça o esclarecimento de um determinado conceito ou fenômeno físico. Importante lembrar que uma analogia ou metáfora em hipótese alguma deve assumir o valor do conceito alvo. Uma analogia ou metáfora deve ser descartada assim que haja o entendimento sobre o assunto abordado.

6 REFERÊNCIAS

- JORGE, W. Analogia no ensino de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v.7, n.3, pp. 196-202, dezembro, 1990.
- DUARTE, M. C. Analogias na educação em ciências contributos e desafios. *Investigações em ensino de ciências*, v.10, n.1, pp. 7-29, 2005.
- BOZELLI, F. C. *Analogias e metáforas no ensino de física: O discurso do professor e o discurso do aluno*. 2005. 234f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.
- AZEVEDO, M. N. ABIB, M. L. V. S. *Pesquisa-ação e a elaboração de saberes docentes em ciências*, *Investigações em ensino de ciências*, v.18 (1), 55-75, 2013.
- FARIAS, E. M. P. Metáfora, dicionário e ensino. *Letras hoje*, Porto Alegre, v.44, n.3, p. 94-100, jul./set. 2009.
- FUSINATO, P. A. *Formação de professores de física e a prática docente*. In: NEVES, M. C. D. et al, *Reflexões sobre o ensino de física no ensino médio: um universo sem fronteiras*, Maringá, Editora Massoni, 2009.
- HESÍODO, *Teogonia a origem dos deuses*, Estudo e tradução – TORRANO J. São Paulo, Iluminuras, 1995.
- SPINELLI, M. *Filósofos pré-socráticos – Primeiros mestres da filosofia e da ciência grega*, Porto Alegre, EDIPUCRS, 1998.
- KIRK, G. S. RAVEN, J.E. SCHOFIELD, M. *Os filósofos pré-socráticos*, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1994.
- NEVES, M. C. D. *Astronomia do Fazer: Alguns instrumentos úteis para a compreensão dos fenômenos do céu e da história da astronomia*. In: NEVES, M. C. D. *Astronomia e Cosmologia – Fatos, Conjecturas e Refutações*, Maringá, Editora da UEM, 2011.
- BARNES, J. (Org.), *Aristóteles*, Aparecida, Ideias e Letras, 2009.
- ASSIS, A. K. T. *Arquimedes - O Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca*. Montreal, Apeiron, 2008.
- ANDERY, M. et al. *Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica*. Nova edição revisada. Rio de Janeiro, Garamond, 2012.
- MICHEL, P. H. et al. *A Ciência Antiga e Medieval – As ciências no mundo Greco-Romano*, São Paulo, Difusão Europeia do Livro. 1959.
- CAPRA, F. *A Ciência de Leonardo Da Vinci – Um mergulho na mente do grande gênio da Renascença*. São Paulo, Editora Cultrix, 2007.

- BENICÁ, D. Capra ressuscita Leonardo da Vinci, *Revista espaço acadêmico*, v.8, n.91, p. 0-3, 2008.
- WOODS, L. *BLOBS da Vinci*. Dez. 2010. Disponível em: <http://lebbeuswoods.wordpress.com/2010/12/03/da-vincis-blobs/>. Acesso em: 24. Nov. 2013.
- ROSSI, P. *O nascimento da ciência moderna na Europa* – Bauru, EDUSC, 2001.
- GALILEI, G. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano* - Tradução, introdução e notas: MARICONDA, P.R. São Paulo, Discurso Editorial, 2004.
- COPÉRNICO, N. *As Revoluções dos Orbes Celestes* – Tradução, introdução e notas: DIAS GOMES, A. et al. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.
- BRUNO, G. *Acerca do Infinito, do Universo e dos Mundos* – Tradução: TRINDADE, D. F. et al, São Paulo. Madras. 2007.
- ASSIS, A. K. T. *Mecânica Relacional* – Volume 22, Campinas, Coleção CLE, 1998.
- NUSSENZVEIG H. M. – *Curso de Física Básica I Mecânica* – 4ª edição revisada, São Paulo, Editora Edgard Blücher, 2002.
- HEWITT P. G. *Física Conceitual* - 11ª edição – Tradução: Trieste Freire Ricci, Porto Alegre, Bookman, 2011.
- SILVA L. L. da, TERRAZZAN E.A. *As analogias no ensino de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais em aulas de Física no Ensino Médio*, *Experiências em ensino de ciências*, v.6(1), 133-154, 2011.
- NAGEM, R. L., CARVALHAES, D. de O., DIAS, J. A. Y. T. *Uma proposta de metodologia de ensino com analogias*, *Revista Portuguesa de Educação*, v.14(1), 197-213, 2001.
- ZAMBON, L. B., TERRAZZAN, E. A. *Analogias produzidas por alunos do Ensino Médio em aulas de Física*, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.35(1), 1505-9, 2013.
- TOMAZELLO, M. G. C. (Org). *A experimentação na aprendizagem de conceitos físico sob a perspectiva Histórico-Social*. Piracicaba: Editora Unimep, 1996.

