

# Imagens Complementares a um Texto de Mecânica: a Perspectiva de seu Potencial para o Aprendizado do Aluno

Luiz O.Q. Peduzzi

*Departamento de Física/Centro de Ciências Físicas e Matemáticas  
Universidade Federal de Santa Catarina  
88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil*

Recebido em 2 de Setembro, 1998

Neste trabalho, apresenta-se um conjunto de imagens complementares aos Livros 2 (“Força e movimento: de Thales a Galileu”) e 3 (“Força e movimento: de Descartes a Newton”) do texto “As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica”, explicitando o seu potencial para o ensino da mecânica. Organizadas pelo autor basicamente a partir da Internet, elas ilustram situações que vão de simples diagramas de forças newtonianas a belas pinturas a óleo que estreitam os laços da ciência e da arte. Contudo, apenas o fascínio que eventualmente possam exercer sobre o leitor não é suficiente (embora seguramente necessário), do ponto de vista instrucional. É a interação do aluno com o texto (Livros 2 e 3) e as imagens que vão tornar este material potencialmente significativo.

This paper presents and discuss the role of an additional set of images for the Book 2 (“Force and movement: from Thales to Galileu”) and Book 3 (“Force and movement: from Descartes to Newton”) of the text “Spontaneous conceptions, problem solving and the history and philosophy of science in a mechanics’s course”, showing the potential of the images for the learning of mechanics. Organized by the author basically from sites in the Internet, the images exhibit situations that range from simple newtonian’s diagrams of force to beautiful oil pictures that closely relate science and art. On the the instructional point of view, however, the enchantment they eventually exert on the reader is not enough (although certainly necessary). It is the student interaction with the text (Book 2 and Book 3) and the images that will make this material potentially meaningful.

## I Introdução

O Livro 2, “Força e movimento: de Thales a Galileu” e o Livro 3, “Força e movimento: de Descartes a Newton”, que veiculam os conteúdos apresentados no Quadro resumo abaixo, integram o texto “**As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica**”. Juntamente com os Livros 1 (“Introdução ao estudo de vetores, à cinemática unidimensional e à resolução de problemas em física”) e 4 (“A teoria da relatividade especial: contexto histórico e conceitos básicos”), eles estruturam um material instrucional que tem por objetivo contribuir para promover a evolução conceitual, a resolução significativa de problemas de lápis e papel e uma concepção não empirista do desenvolvimento científico entre estudantes univer-

sitários de física.(1)

**Livro 2: Força e movimento: de Thales a Galileu (160 p.)**

Introdução; 1. De Thales a Ptolomeu; 2. A física aristotélica; 3. A física da força impressa e do impetus; 4. As novas concepções do mundo; 5. Galileu e a teoria copernicana; 6. A física de Galileu; 7. As leis de Kepler do movimento planetário.

**Livro 3: Força e movimento: de Descartes a Newton (202 p.)**

Introdução; 1. O mecanicismo cartesiano; 2. Sobre a questão da conservação da quantidade de movimento e da força viva em colisões frontais e a emergência de uma nova dinâmica; 3. Uma introdução

didática às leis de Newton; 4. O atrito; 5. O movimento de projéteis; 6. O movimento circular; 7. A gravitação universal newtoniana.

Quadro resumo do conteúdo programático dos Livros 2 e 3 do material instrucional “As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica”.

A implementação do Livro 2 e dos capítulos iniciais do Livro 3 em sala de aula, durante o primeiro semestre de 1997, com uma turma de alunos da disciplina Física Geral I do Curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, evidenciou os primeiros sinais de que a utilização de um conjunto de imagens adicionais a estes livros poderia ser do interesse do aluno, servindo como um agente de motivação à seu estudo e, muito provavelmente, propiciando novos subsídios para uma melhor compreensão dos assuntos abordados.

Ocorre que para a discussão dos conteúdos históricos relativos aos sete capítulos do Livro 2 e dos dois primeiros do Livro 3 utilizou-se uma metodologia que exigiu uma participação ativa dos alunos junto ao texto. Divididos em grupos (de 3 ou 4), coube, a cada um, a apresentação oral de um capítulo. Havendo mais grupos do que os capítulos disponíveis, e para evitar a repetição de temas, suplementou-se o material a ser apresentado com duas biografias, uma de Galileu [2] e outra de Newton [3].

Foi justamente entre os três alunos responsáveis pela exposição da obra Galileu, uma vida, de J. Reston, que além de uma original encenação em forma teatral de uma boa parte do livro também apresentaram, em transparências coloridas, um conjunto de imagens captadas junto a Internet, que se pode constatar a ótima impressão que estas últimas causaram a ‘platéia’ presente.

A idéia de envolver os alunos da turma na elaboração de uma home page da disciplina, contendo o conteúdo programático dos quatro livros do texto “**As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica**”, a fundamentação teórica deste material instrucional em termos de aprendizagem [4] e um conjunto de imagens, de caráter motivador, associadas ao texto, contou com o entusiasmo inicial de um expressivo número de estudantes. O desconhecimento sobre como elaborar uma home page, tanto da parte

do professor como dos alunos, em geral, associado ao número de horas que esta tarefa demandaria a vários estudantes já comprometidos com algum tipo de trabalho (bolsas, aulas etc.) acabou arrefecendo o ânimo de todos.

Apostando, contudo, no potencial deste empreendimento para o aprendizado do aluno, acabou ‘no ar’, no mês de setembro de 1997, em caráter bastante insipiente e por isso mesmo provisório, uma home page, desenvolvida pelo professor (o autor), com um pequeno número de imagens mas com o perfil muito próximo daquele previamente concebido.

Durante o segundo semestre de 1997, e como última etapa de uma pesquisa relativa a tese de doutoramento do autor, procedeu-se a uma análise geral do texto “**As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica**”. Uma avaliação preliminar dos três primeiros livros deste material instrucional, centrada em observações realizadas em sala de aula no primeiro semestre de 1997 e nas respostas dos estudantes a um opiniário, indicou uma boa receptividade ao texto e a viabilidade de seu uso em sala de aula [5]. No entanto, de modo a elucidar algumas respostas constantes no opiniário e em um questionário aberto respondido pelos alunos, bem como colher a impressão geral dos mesmos sobre o curso ministrado e o texto adotado, com base em suas críticas e sugestões, realizou-se um conjunto de entrevistas com uma amostra de seis estudantes.

O que definitivamente desencadeou um novo esforço por parte do autor no sentido de desenvolver um material ‘mais completo’ de apoio ao texto utilizado em sala de aula, em termos de um amplo conjunto de imagens adicionais a este material instrucional, foi um trecho da entrevista concedida em conjunto pelos alunos **M** e **F**<sup>1</sup>, o qual se especifica a seguir [1].

Tendo o estudante **M** escrito em seu questionário aberto que “*Principalmente em livros didáticos de física do segundo grau, nota-se uma qualidade impressionante no tocante a fotos, gravuras, desenhos. Isso, na realidade, prende a atenção do leitor. É interessante uma observação neste sentido. Mas claro que não estou levando em conta aqui o ponto financeiro da questão. Quanto a isso, talvez o melhor seja um bom senso entre dinheiro e beleza.*”, o professor pergunta:

**P:** “*É interessante esta observação sobre as fotos e gravuras nos textos. A falta delas [em cores, com fotos*

<sup>1</sup> Estes estudantes não lograram aprovação na disciplina, mas mostraram um grande esforço ao longo do semestre letivo.

ilustrativas etc.] tornou o texto mais árido?”

**M:** “Não! Não tornou o texto mais árido! Mas o que a gente nota é que por exemplo nos livros didáticos do segundo grau, quando você vê aquelas gravuras super bem feitas, super coloridas, imagens super bem elaboradas, eu acho que isto prende muito mais a atenção do aluno. No meu caso eu senti muito isso. Eu gostava muito de ficar olhando os livros ... de ficar olhando e lendo as coisas .. eu gostava disso!”

O aluno termina a frase com uma certa melancolia, ou nostalgia, talvez melhor dizendo. A aluna **E**, também presente na entrevista, corrobora as palavras de **M**:

**E:** “É! Eu também concordo. Eu concordo porque só ler, ler ... é legal, só que a partir do momento que tu estás observando a coisa mesmo, na tua frente, é mais legal de entender. Eu penso assim.”

Na próxima seção apresenta-se um sumário dos conteúdos desenvolvidos nos Livros 2 e 3, que constituem o aporte teórico das imagens mencionadas neste trabalho. O acesso às imagens, a sua classificação em imagens-tipo e as conclusões do estudo completam o artigo.

## II Descrição sucinta do conteúdo programático do material instrucional relativo aos Livros 2 e 3

### 2.1 - Força e movimento: de Thales a Galileu

No primeiro capítulo do Livro 2, “De Thales a Ptolomeu”, discute-se a constituição da matéria, segundo alguns filósofos gregos, e algumas idéias no campo da astronomia que acabam colocando a Terra como corpo central no universo e elegendo o movimento circular uniforme como um movimento ‘perfeito’. Nesta trajetória, chega-se ao universo aristotélico. Vendo de um lado a Terra, em constante mudança, e de outro o céu, que exceto pelo movimento dos astros não é objeto de qualquer alteração, Aristóteles (384-322 a.C.) atribui realidades físicas diferentes a estes dois ‘mundos’, com reflexos diretos na forma com que irá estruturar as suas concepções em mecânica. O sistema de Ptolomeu (~100 - 170 a.D.), compatível com a doutrina aristotélica de uma Terra imóvel e referencial para todos os movimentos, mas dela divergindo por não centrar na Terra todos os movimentos circulares, suscita uma interessante con-

tenda entre astronomia matemática e astronomia física, examinada ao final do capítulo.

O capítulo 2 introduz os conceitos de lugar natural e de movimento natural, ambos diretamente associados à estrutura logicamente ordenada do universo aristotélico. Através da ‘lei de força’ de Aristóteles fica clara a proporcionalidade entre força aplicada e velocidade adquirida, bem como a impossibilidade de movimento no vazio. Na dinâmica aristotélica, o que move e o que se movimenta devem estar em permanente contato, não sendo possível, desta forma, a manutenção de um movimento sem uma força constantemente aplicada ao móvel. Isto acaba acarretando problemas na forma como Aristóteles explica o movimento de um projétil após o seu arremesso, devido ao duplo caráter que ele atribui ao meio: o de sustentar o movimento e o de opor uma resistência a ele.

A idéia básica da dinâmica aristotélica, de que é necessário associar uma força a um objeto em movimento, continua presente nos trabalhos de Hiparco (130 a.C.) e Filoponos (século VI a.D.), mas de uma forma diferente. Para eles, o movimento de um projétil se dá por meio de uma força transmitida ao projétil pelo lançador (ao contrário de Aristóteles, para o qual a força provinha do próprio meio). As primeiras seções do capítulo 3 mostram como esta idéia se insere dentro da perspectiva de um universo finito que exige que qualquer movimento seja limitado em extensão. A noção de força impressa de Hiparco e Filoponos serviu de referencial para que, no século XIV, estudiosos da escola parisiense desenvolvessem a teoria do impetus, que originou uma série de novas críticas às considerações de Aristóteles sobre força e movimento. O impetus é uma ‘qualidade’, ‘força’, ‘impressão’, ‘potência’, ‘virtude motriz’ que passa do movente ao móvel nos movimentos violentos e de que um corpo em movimento natural também fica impregnado. É através deste conceito, sugerido como explicação para a rotação da Terra ou da esfera das estrelas, que aparece, pela primeira vez, mesmo que de forma incipiente, a idéia de uma única física para explicar eventos terrestres e celestes.

Contudo, para que uma nova física possa encontrar terreno fértil para o seu desenvolvimento faz-se necessário abalar toda uma estrutura rigidamente estabelecida ao longo dos séculos, em que se acham interligados componentes de ciência, filosofia e religião. No capítulo 4, “As novas concepções do mundo”, procura-se mostrar como se deram os primeiros passos nesta direção, comentando o pensamento de Nicolau de Cusa

sobre a relatividade dos movimentos e a sua idéia de um universo sem limites; discutindo o heliocentrismo de Copérnico e os problemas de ordem física (entre outros) que os aristotélicos levantavam para a sua rejeição; apresentando a argumentação de Giordano Bruno em favor de um universo infinito que passa não pelo testemunho dos sentidos mas sim pela força do intelecto, pelos olhos da razão; fazendo referência à prática de observação sistemática do céu desenvolvida por Tycho Brahe e o espírito de precisão que sempre norteou o seu trabalho que acabaram propiciando dados a Kepler para romper com o mito do movimento circular na astronomia.

Quando surge o telescópio, sentimentos de repulsa de um lado e de adesão de outro dividem o julgamento dos expectadores em relação ao que vêem através das lentes deste novo e revolucionário instrumento. É a imutabilidade do céu, e com ela toda uma concepção de mundo, que está em jogo quando se argumenta existirem estrelas que nunca se viu, irregularidades na superfície lunar, satélites em Júpiter, protuberâncias em Saturno, manchas no Sol e fases em Vênus. O fato de dois observadores com concepções de mundo bem definidas e antagônicas, como aristotélicos e copernicanos, dirigirem o telescópio à Júpiter e admitirem coisas tão distintas como a existência de satélites orbitando em torno deste planeta ou associarem os pontos luminosos a meros borrões/defeitos em suas lentes levanta a pertinente questão do papel da interpretação das observações na defesa e na construção de teorias científicas. O capítulo 5, “Galileu e a teoria copernicana”, termina com a defesa de Galileu à liberdade científica, à autonomia da ciência em relação à teologia, em resposta aos que pretendem se valer da Bíblia para resolver disputas filosóficas. Mantendo-se fiel aos ‘princípios realistas’ da doutrina copernicana, Galileu é proibido, pela Inquisição, de sustentar ou defender as teses do heliocentrismo.

O capítulo 6, “A física de Galileu”, apresenta as primeiras idéias deste sábio italiano sobre força e movimento e a influência de Arquimedes em seu trabalho. A seguir, mostra-se como Galileu obtém a lei da queda dos corpos, introduzindo, definitivamente, uma física quantitativa, inteiramente diferente da física das qualidades de Aristóteles e de seus seguidores, e da física do *impetus*, bastante confusa e vaga. Finalmente, discute-se o

movimento de projéteis e a inércia galileana, chamando a atenção para que esta última seria, no limite, uma inércia circular.

O capítulo 7 é sobre Kepler. Com este estudioso tem início o fim do divórcio entre a física e a astronomia. Universalizando o conceito de força, isto é, aplicando ao ‘domínio celeste’ um conceito extraído da mecânica terrestre, e procurando entendê-lo tanto qualitativa quanto quantitativamente, Kepler inaugura o estudo da física do sistema solar. Ao fazer isso ele vai contra a praxe secular de explicar assuntos de astronomia de acordo com os métodos da astronomia, que se situavam no campo da geometria e da aritmética, nada tendo a ver com causas e hipóteses físicas. Mas é, sem dúvida, por suas três leis que Kepler ganha notoriedade. É através de sua primeira lei que, definitivamente, começa a ruir o mito do movimento circular na astronomia.

## 2.2 - Força e movimento: de Descartes a Newton

Através do “*Philosophiae naturalis principia mathematica*” (“Princípios matemáticos de filosofia natural”), usualmente conhecido como “Principia”, publicado pela primeira vez em 1687, Newton protagoniza um dos mais importantes capítulos na história da física ao promover a grande transformação intelectual que dá origem à ciência moderna.

O ‘Principia’ emerge em uma ciência ‘agitada’ por uma nova postura filosófica. As hierarquias e qualidades finalísticas e ocultas da filosofia natural aristotélica não fazem mais sentido à discussão. É nas leis da matéria em movimento e do choque mecânico que se supõe residir a chave para a compreensão de todos os fenômenos.

O artífice maior desta nova corrente de pensamento é o filósofo e matemático francês René Descartes (1596-1650). O capítulo 1 do Livro 3 explora, sucintamente, o mecanicismo cartesiano, mostrando como Descartes estabelece o princípio da inércia (linear, ‘newtoniana’, e não circular, galileana) e chega à primeira explicação mecânica para a gravidade a partir do delineamento de uma teoria especulativa sobre a formação progressiva dos astros<sup>2</sup>.

<sup>2</sup>É interessante observar que para Aristóteles o universo é eterno, sempre existiu e sempre existirá na forma em que atualmente se encontra. Sua filosofia não admite a criação do cosmos. Já Newton, fiel ‘à letra das Escrituras judaico-cristãs’, acredita na configuração definitiva do universo, desde o instante da sua criação (por Deus). Evidentemente, “*tal crença não o impediu de apresentar ao público uma das mais sólidas explicações racionais que se conhece dessa ordem*” [6].

Mas é a lei da conservação da quantidade de movimento, enunciada por Descartes a partir do seu entendimento sobre como se deve investigar a ciência, não o princípio da inércia, que atrai o interesse dos cientistas do século XVII.

O que, afinal, se conserva em uma colisão é a técnica dos assuntos explorados no capítulo 2. Os estudos de alguns cientistas, nesta direção, terminam por estabelecer noções precursoras do moderno princípio da transformação e conservação da energia. A falta, ainda, de uma noção clara do conceito de força é, em última instância, o que precipita estas idéias.

Aceitando como válido o princípio da inércia, Newton ponderou que *“devia haver uma rigorosa correlação entre uma causa externa e a mudança que ela produz. Ali estava uma nova abordagem da força, na qual os corpos eram tratados como objetos passivos de forças externas incidentes sobre eles, não como um veículo ativo de força incidindo sobre outros”* [3]. Para o filósofo e matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), por exemplo, um objeto em movimento possuía uma ‘força’ dependente de sua massa e do quadrado de sua velocidade - um conceito bastante próximo daquele que mais tarde viria a ser conhecido como a energia cinética de um corpo.

Demonstrando, experimentalmente, em que condições ocorre a conservação da quantidade de movimento em uma colisão, Newton identifica uma força com a variação temporal da quantidade de movimento de um corpo (segunda lei) e conclui que as forças envolvidas num choque mecânico possuem a mesma intensidade, a mesma direção e sentidos opostos (terceira lei).

O capítulo 3 faz uma abordagem essencialmente didática às leis de Newton, estabelecendo o princípio da inércia a partir dos estudos de Galileu sobre o movimento neutro, contrastando alguns aspectos da física newtoniana com a teoria do impetus, de Buridan, promovendo uma ampla discussão sobre a física do senso comum e as dificuldades conceituais de estudantes à dinâmica newtoniana e exemplificando a aplicação das leis de Newton a diversas situações-problema, entre outras coisas.

O capítulo 4 examina como surgem e o que representam as forças de atrito entre dois corpos. Estuda-se e aplica-se, em várias situações-problema, a lei de força para o atrito de deslizamento a seco e a lei de força para o atrito estático que aparece entre duas superfícies em repouso relativo quando uma delas é forçada a deslizar

sobre a outra.

O movimento de projéteis, tanto em uma quanto em duas dimensões, é o tema tratado no capítulo 5. Os conceitos básicos da cinemática linear, desenvolvidos no Livro 1, fazem-se pré-requisitos indispensáveis à descrição matemática destes movimentos. Quanto a sua análise dinâmica, parece relevante incursionar novamente junto a física intuitiva do aluno para superar, de vez, possíveis concepções alternativas ainda existentes sobre a relação força e movimento.

No capítulo 6 matematiza-se o movimento circular, enfatizando, particularmente, o movimento circular uniforme. O processo de resolução de duas situações-problema por um observador inercial e um observador acelerado caracteriza, fisicamente, as diferenças existentes entre eles.

O capítulo 7 aborda, em linhas gerais, o contexto de surgimento da gravitação universal newtoniana: as concepções iniciais de Newton sobre o movimento circular; o ‘legado’ de Hooke a Newton (isto é, a hipótese de compor os movimentos dos planetas em um movimento direto segundo a tangente e em um movimento de atração em direção ao corpo central), resultante da correspondência que se estabelece entre ambos; o significado dinâmico que Newton confere à segunda lei de Kepler; a queda da maçã e a implausibilidade teórica de uma ligação direta deste episódio à descoberta da gravitação; a breve correspondência de Newton com Flamsteed; o famoso encontro de Newton com Halley; a aceitação do “Principia”, depois de publicado.

Não sendo o objetivo do texto apresentar a trajetória matemática de Newton à gravitação universal (tendo em vista as complexidades deste empreendimento), procede-se à uma discussão didático-matemática deste tema, fazendo uso do movimento circular e de conceitos introduzidos no capítulo 6. Obtém-se, assim, a lei da gravitação universal, discutindo-a e exemplificando-a.

O capítulo 7 ainda contempla uma discussão que salienta, contrariamente a tese empirista-indutivista, que a lei da gravitação universal não pode ser derivada por generalização e indução a partir das leis de Kepler.

### III O acesso às imagens

É bastante diversificado o acesso do aluno de Física Geral I (e também de outras disciplinas que trazem a mecânica em seus conteúdos programáticos) às imagens. Elas encontram-se disponíveis:

- a) No texto “Imagens relativas aos Livros 2 e 3” [7];
- b) na home page  
<http://www.fsc.ufsc.br/pesqpeduzzi>, que também divulga como se encontram organizados e estruturados os assuntos constantes nos Livros 1, 2, 3 e 4 e os objetivos deste material instrucional;
- c) em um conjunto de nove disquetes 3 1/4, com todas as fontes da home page;
- d) em um conjunto de transparências coloridas.

Este ‘amplo’ acesso objetiva atender a alunos com diferentes recursos materiais e financeiros. O fato é que não se pode desprezar ou ignorar, pura e simplesmente, os gastos do estudante com a reprografia

- dos Livros 1, 2, 3 e 4, que não estão disponíveis comercialmente;
- do texto “Imagens relativas aos Livros 2 e 3”;
- do material das imagens, mesmo a partir de uma impressora colorida.

Por outro lado, os laboratórios de informática a que o aluno da Universidade Federal de Santa Catarina tem acesso, em geral, disponibilizam as imagens, sem custos a ele, através da home page, seja diretamente através da Internet ou a partir das fontes constantes nos nove disquetes instalados em um microcomputador. Nestes mesmos disquetes, há um conjunto de arquivos do Word com a configuração das páginas do texto “Imagens relativas aos Livros 2 e 3”. Com isso, o aluno interessado (e com disponibilidade de recursos) pode imprimir as páginas do texto que mais lhe interessarem e agregá-las, como anexo, aos Livros 2 e 3.

De qualquer maneira, as transparências coloridas, para uso do professor em sala de aula na disciplina Física Geral I e outras afins, asseguram a divulgação deste material a todos os alunos.

*Evidentemente, a home page amplia a professores e estudantes de outras instituições de ensino o acesso às imagens.*

## IV Tipos de imagens

Em linhas gerais, as imagens podem ser classificadas em seis grandes categorias (as figuras mencionadas encontram-se no apêndice, ao final do artigo):

### Imagens de caráter predominantemente ilustrativo

Isoladamente, pouco contribuem para o aprendizado do aluno. Veiculam pinturas, desenhos e gravuras de

cientistas e personagens que fazem parte da história da mecânica. Entre elas, encontram-se Galileu (Fig.1), Viviane (Fig.2), Bellarmino (Fig.3) e Descartes (Fig.4). O retrato de um Newton idoso (Fig.5) contrasta com a sua imagem mais popular (Fig.6). O estudo da gravitação justifica a inclusão, nesta categoria, de imagens de planetas, cúmulos globulares (Fig.7) e galáxias (Fig.8), etc.

### Imagens que estreitam os laços da ciência e da arte

Incluem-se, nesta seção, a “Noite estrelada”, de Vincent Van Gogh (Fig.9) e a “Escola de Atenas”, de Rafael (Fig.10). Imagens como a de Galileu com o seu primeiro biógrafo (Fig.11), de Galileu frente a Inquisição (Fig.12), de Tycho Brahe com o Imperador Rudolfo II (Figuras 13 e 14) e uma gravura do século VII que coloca o heliocentrismo no centro de uma discussão (Fig.15), entre tantas outras, ilustram ‘flashes’ ou ‘momentos’ da ciência perpetuados através da arte.

### Imagens ‘provocativas’

Associam-se a perguntas que colocam em cheque ‘lendas’ e situações que exploradas sem o devido aprofundamento teórico trazem prejuízo ao aprendizado do aluno, tanto ao nível conceitual quanto sobre a própria natureza do trabalho científico. Constituem-se em exemplos a queda da maçã e a idéia da gravitação universal (Figuras 16 e 17), Galileu e a experiência da Torre de Pisa (Fig.18) e as experiências de Galileu com o plano inclinado (descoberta de uma lei ou ratificação de uma teoria?) (Fig.19).

### Imagens que objetivam contribuir, explicitamente, para um melhor entendimento conceitual

Estas imagens, de cunho bastante variado, são de grande importância para o aprendizado do aluno. Buscando uma articulação com o material instrucional (Livros 2 e 3) objetivam

- auxiliar o estudante a visualizar melhor certas situações (movimentos etc.) e também envolvê-lo na tarefa de explicá-las, a fim de demonstrar o seu entendimento sobre a questão abordada (Figuras 20, 21 e 22);
- propor, em um primeiro momento, uma determinada situação-problema encaminhando, logo a seguir, a sua solução (Figuras 23 e 24).

### Imagens que questionam, diretamente, o aluno

Através das respostas às perguntas constantes neste tipo de imagens, o aluno testa a sua compreensão sobre os assuntos estudados (Figuras 25, 26 e 27).

### Imagens que, necessariamente, resultam estéreis ao aluno sem a fundamentação teórica do texto

O sistema cosmológico de Filolau de Tarento (Fig.28), o movimento retrógrado de Marte (Fig.29), a figura da geometria plana que gerou em Kepler a idéia da construção do 'esqueleto invisível' do universo (Figuras 30 e 31), as fases de Vênus nos sistemas ptolomaico e copernicano (Figuras 32 e 33) e a 'sugestão' ou legado de Hooke a Newton (Fig.34) realçam situações que explicitam o seu vínculo indispensável com a teoria (os Livros 2 e 3) de modo a poderem cumprir com a sua função de ilustrar e facilitar a compreensão do estudante.

## V À guisa de conclusão

A utilização de um conjunto diversificado de imagens como recurso instrucional complementar a um texto de mecânica, como o discutido neste trabalho, seguramente atende ao propósito de tornar menos árido o ensino desta parte da física que, como as demais, geralmente está centrada, apenas, na resolução de um extenso e exaustivo número de problemas.

No primeiro semestre de 1998, por exemplo, as imagens relativas ao Livro 2 foram espontânea e amplamente utilizadas pelos alunos da disciplina Física Geral I para ilustrar as apresentações dos conteúdos deste texto, dentro de uma metodologia de trabalho semelhante a empregada no primeiro semestre de 1997.

Em suas explanações, a maior parte dos estudantes fez uso das transparências disponibilizadas pelo professor (mencionadas anteriormente), articulando, como era esperado, conteúdo e imagens, com bons resultados. Contudo, a originalidade também se fez presente nesta atividade. Assim, evidenciando a capacidade criativa do aluno, normalmente pouco explorada e, com

freqüência, até mesmo sufocada em cursos tradicionais, um grupo de quatro estudantes desenvolveu a sua apresentação com o auxílio de um 'Note Book' e de um 'Data Show'. Bem estruturada, e integrando conteúdos específicos do texto com imagens a ele pertinentes de uma forma ágil e atrativa visualmente, esta apresentação despertou uma grande atenção e interesse entre os presentes, como bem se pode aquilatar.

O apoio de um conjunto de imagens extra-texto, de uso optativo ao aluno interessado, torna a leitura do material instrucional mais fluente, minimizando os riscos de 'truncá-lo', em demasia, com um exagerado número de ilustrações. O aluno, com isso, tem também maior liberdade para fazer as associações imagens-texto que julgar mais pertinentes, como a efetivada pelo grupo que inovou, em sua apresentação. Os custos de uma possível reprografia do material são, também, significativamente menores.

Por outro lado, a divisão ou classificação das imagens em categorias visa, tão somente, ilustrar as diferentes funções que elas podem cumprir no aprendizado do estudante. Evidentemente, não há fronteiras bem definidas entre elas.

Assim, por exemplo, uma imagem como a de Viviane, de caráter predominantemente ilustrativo, vista pelo aluno como o personagem desencadeador do 'mito' de Pisa, pode levá-lo não apenas a uma leitura mais cuidadosa do texto como também à bibliografia suplementar. Afinal, que significado poderia ter a realização desta experiência, nas condições mencionadas pelo primeiro biógrafo de Galileu, no contexto da época?

Os links e a bibliografia de referência, que asseguram o devido crédito aos autores das imagens, e a utilização da Internet (principalmente), para acessá-las, propicia ao estudante uma fonte inesgotável para novas leituras e aprofundamento em assuntos específicos.

O tema das imagens é, sem dúvida, fascinante... e interessa muito ao aluno! A sua articulação, em geral, com todo o espectro de materiais instrucionais utilizado pelo professor na busca de um aprendizado significativo dos conteúdos ministrados abre à pesquisa científica uma ampla e promissora área de investigação.

### Referências Bibliográficas

1. PEDUZZI, L.O.Q. As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e a filosofia da ciência em um curso de mecânica. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
2. RESTON, J. *Galileu, uma vida*. Rio de Janeiro, José Olympio, 1995.
3. WESTFALL, R.S. *A vida de Isaac Newton*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1995.

4. PEDUZZI, L.O.Q. As bases teóricas de um texto de mecânica em nível universitário básico. In: “Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo” (Actas): 217-228, Universidad de Burgos, Burgos (Espanha), 1997.
5. PEDUZZI, L.O.Q. Um texto de mecânica em nível universitário básico: conteúdo programático e receptividade à seu uso em sala de aula. *Investigações em Ensino de Ciências*, **3** (1), 1998.
6. ARAUJO, C.R.R. Verdade e interesse na cosmogonia de Descartes. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, **2**, número especial, 1990. p.9.
7. PEDUZZI, L.O.Q. *Imagens relativas aos Livros 2 e 3*. In: PEDUZZI, L.O.Q. Referência 1, pp. 715-850.
8. <http://galileo.imss.firenze.it/museo/b/egalilg.html>
9. <http://es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo/People/viviani.html>
10. <http://www.imss.firenze.it/museo/b/ebellar.html>
11. <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/history/Mathematicians/Descartes.html>
12. <http://www.caltech.edu/cgi-bin/arctohtml?50.10-1>
13. <http://www.cyberstation.net/%7Ejweesner/newton.jpg>
14. <http://encke.jpl.nasa.gov/TIE/globc.html>
15. <http://seds.lpl.arizona.edu/messier/more/mw.html>
- 16a. [http://www.postershop.com/artist/vangogh/vgo542\\_e.htm](http://www.postershop.com/artist/vangogh/vgo542_e.htm)
- 16b. RUTHERFORD, F.J., HOLTON, G. & WATSON, F.G. *The project physics course*. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1970. p.92.
17. <http://www.cuny.edu:80/multimedia/arsnew/arch5.html>
18. <http://www.imss.firenze.it/museo/4/eiv16.html>
19. <http://www.cuny.edu:80/multimedia/arsnew/galileo3.html>
20. <http://www.mhs.ox.ac.uk/tycho/catfm.htm?intro>
21. GIORGIO, R. La fisica nel cassetto. *Historia*, Anno XXXVII, n.424: 42-48, 1993.
22. <http://selena.physics.utah.edu/springer/astro/clockwork/clockwork.htm>
23. <http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/history/newtongrav.html>
24. <http://www.cuny.edu:80/multimedia/arsnew/galileo1.html>
25. <http://galileo.imss.firenze.it/museo/b/egalilg.html>
26. <http://www.physics.uiuc.edu/courses/150/spring96/slides/lecture07/slide08.html>
27. [http://dept.physics.upenn.edu/courses/gladney/mathphys/java/sect4/subsection4\\_1\\_2.html](http://dept.physics.upenn.edu/courses/gladney/mathphys/java/sect4/subsection4_1_2.html)
28. [http://www.ssl.msfc.nasa.gov/msl1/ground\\_lab/aroundtheworld.htm](http://www.ssl.msfc.nasa.gov/msl1/ground_lab/aroundtheworld.htm)
29. [http://dept.physics.upenn.edu/courses/gladney/mathphys/java/sect4/subsubsection4\\_1\\_4\\_4.html](http://dept.physics.upenn.edu/courses/gladney/mathphys/java/sect4/subsubsection4_1_4_4.html)
30. <http://oldsci.eiu.edu/physics/DDavis/1350/05Laws/appl.html>
31. HARRISON, E. *A escuridão da noite*. Rio de Janeiro, Zahar, 1995. p.34.
32. <http://www.perseus.tufts.edu/GreekScience/Students/Ellen/EarlyGkAstronomy.html#RTFToC4>
33. [http://www.hcc.hawaii.edu/hccinfo/instruct/div5/sci/sci122/DARK\\_DAWN.html#](http://www.hcc.hawaii.edu/hccinfo/instruct/div5/sci/sci122/DARK_DAWN.html#)
34. <http://www.phys.virginia.edu/classes/109N/1995/lectures/kepler.html>
35. <http://www.projmath.caltech.edu/mu126.htm?7,13>
36. <http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/history/galileo.html> art-img1.rich



APÊNDICE (As imagens no artigo original são coloridas, em sua quase totalidade)

Imagens de caráter predominantemente ilustrativo:

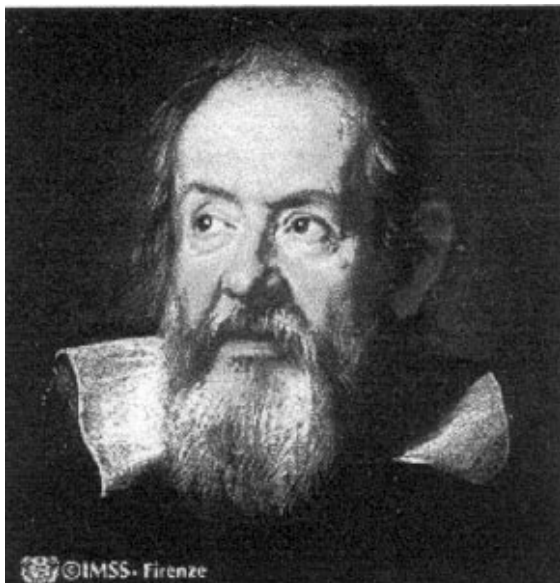


Figura 1. Galileu Galilei.[8]



Figura 3. Roberto Bellarmino (1542-1621), consultor do Santo Ofício, membro da Inquisição e personagem central nos primeiros conflitos de Galileu com autoridades eclesiásticas.[10]



Figura 2. Vicenzio Viviane (1622-1703), o primeiro biógrafo de Galilei.[9]



Figura 4. René Descartes (1596-1650). [11]

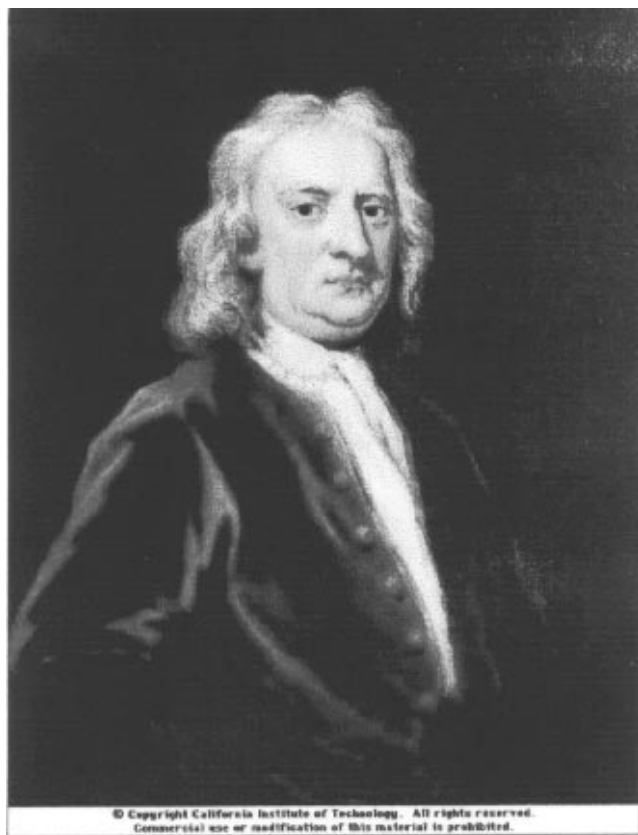


Figura 5. Pintura a óleo de Newton por John Venderbank.[12]

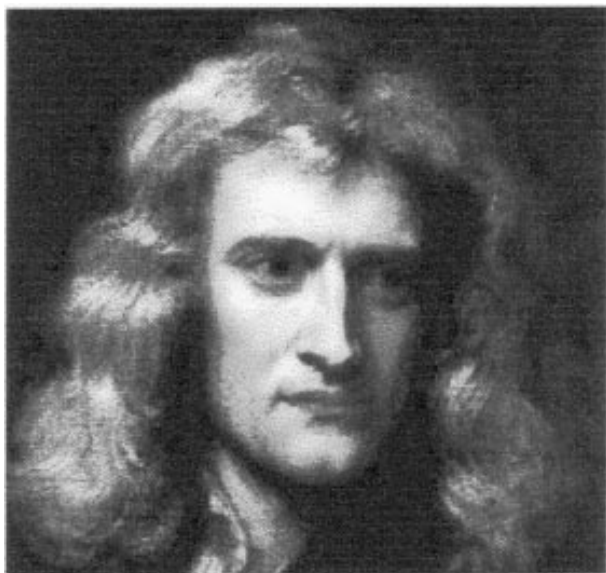


Figura 6. Isaac Newton, em uma pintura de 1689 de Godfrey Kneller.[13]

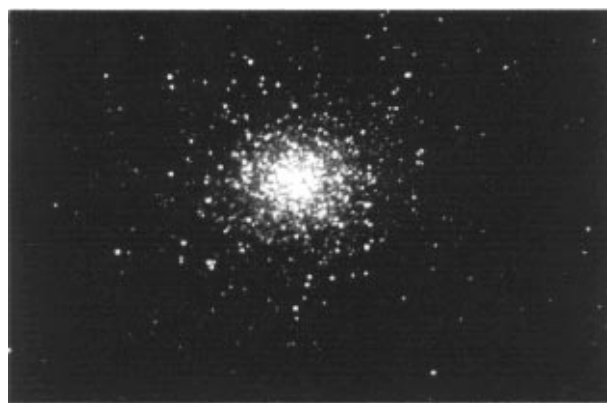


Figura 7. O cúmulo globular M13, situado na Via Láctea, é um sistema de estrelas ligado gravitacionalmente.[14]

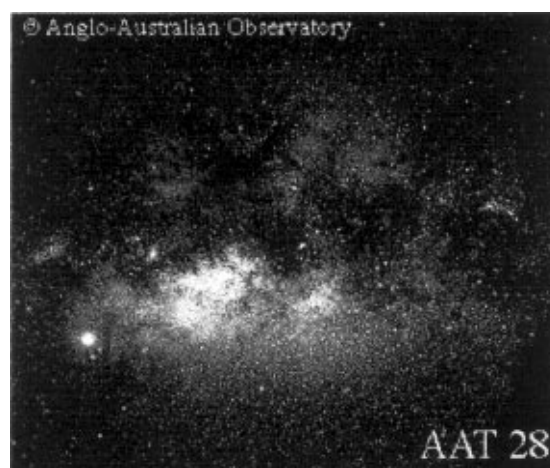


Figura 8. A Via-Láctea é uma galaxia espiral com cerca de 200 bilhões de estrelas e um diâmetro de 100.000 anos-luz.[15]

## Imagens que estreitam os laços da ciência e da arte



Figura 9. “A noite estrelada” de Vicent Van Gogh. Como bem destaca o texto “The project physics course”, “o sentimento intuitivo de que todos os fenômenos da natureza estão interligados em uma grande escala é compartilhado tanto por cientistas como por artistas.[16a,b]



Figura 10. A “Escola de Atenas” de Rafael.[17]



Figura 11. Galileu e Viviane na prisão domiciliar de Galileu em Arcetri. Quadro de Tito Lessi.[18]



Figura 12. Galileu e a Inquisição.[19]



Figura 13. O imperador Rudolfo II e Tycho Brahe, em um quadro de 1855 de Edouard Ender.[20]



Figura 14. Brahe no quadro de Ender.[20]



Figura 15. Gravura do século XVII enfatizando o heliocentrismo.[21]

## Imagens ‘provocativas’

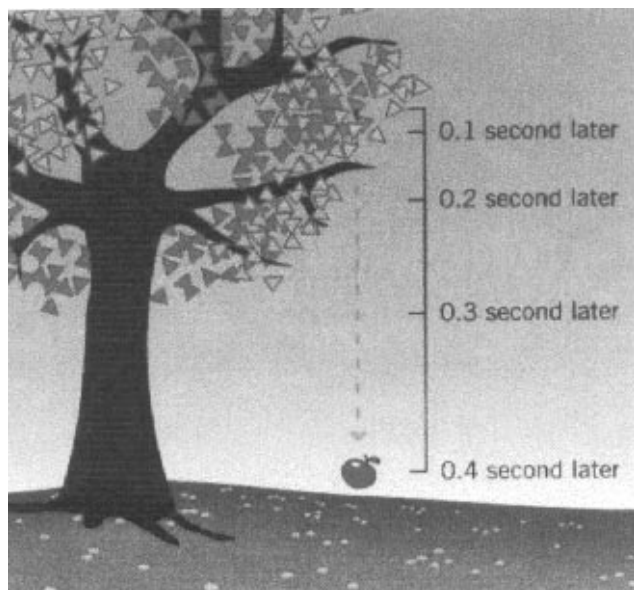


Figura 16. As distâncias percorridas por uma maçã, em queda, são crescentes para cada intervalo de tempo considerado. É famoso o ‘episódio da maçã’ no contexto histórico da gravitação universal: fato verídico ou lenda? [22]

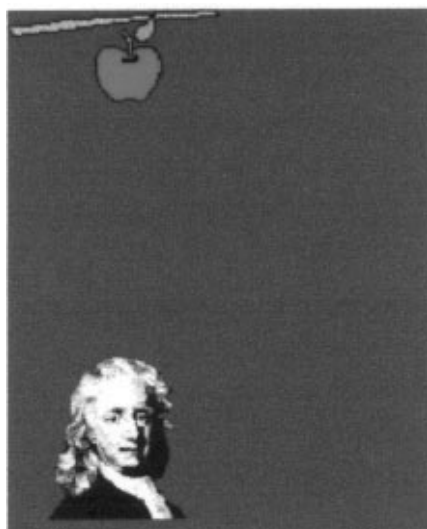


Figura 17. Qual a plausibilidade da afirmação de que a queda de uma maçã teria desencadeado em Newton a idéia da gravitação universal?[23]

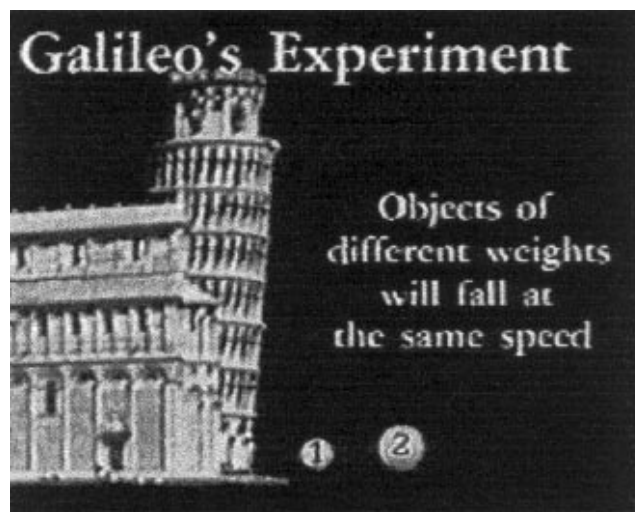


Figura 18. Para Galileu, quando dois objetos de pesos diferentes, e de mesmo material, são soltos ao mesmo tempo de uma mesma altura em relação ao solo eles chegam (aproximadamente) juntos.[24]



Figura 19. ‘Demonstrações’ de Galileu com o plano inclinado para uma platéia incrédula.[25]

## Imagens que objetivam contribuir, explicitamente, para um melhor entendimento conceitual

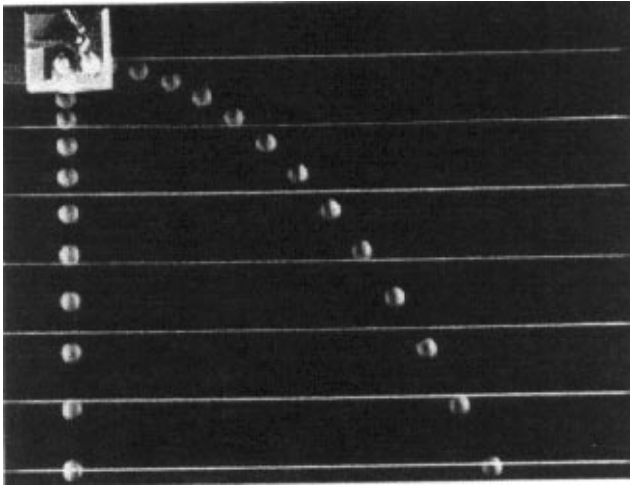


Figura 20. Foto estroboscópica da queda de dois objetos de massas diferentes: um liberado verticalmente a partir do repouso e o outro projetado horizontalmente, ambos de uma mesma altura e no mesmo instante.[22]

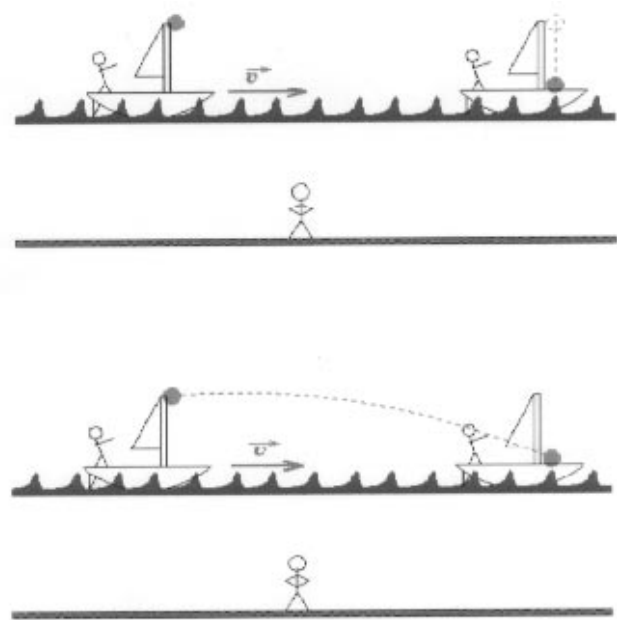


Figura 22. A queda de um objeto do alto do mastro de um barco em movimento vista por dois observadores inerciais: para o observador no interior do barco o objeto cai verticalmente enquanto para o observador na praia a trajetória é parabólica. Explique o porquê. [27]

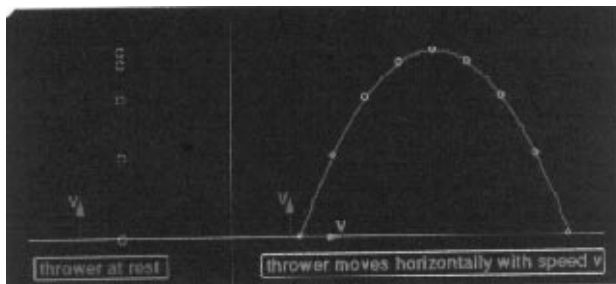


Figura 21. Um objeto projetado verticalmente para cima, com a mesma velocidade, em duas diferentes situações: em uma delas (à esquerda) o lançador se encontra em repouso e na outra ele se move horizontalmente com velocidade constante (à direita). Comente as semelhanças e diferenças dos dois movimentos.[26]

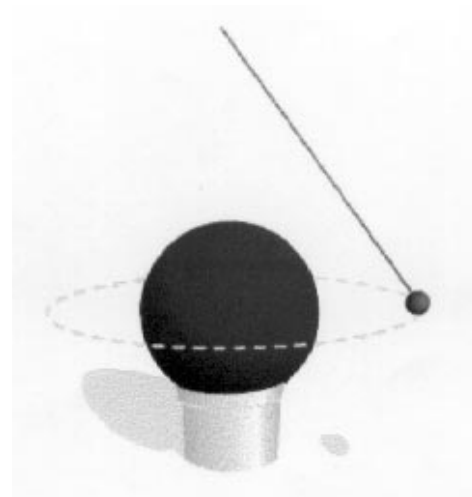


Figura 23. Explícite as forças que agem sobre a esferinha em seu movimento ao redor da esfera maior.[28]

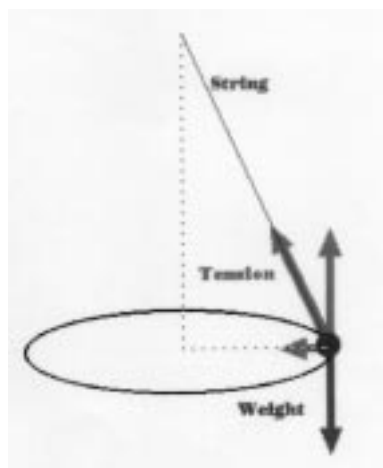


Figura 24. Forças em um pêndulo cônico.[29]

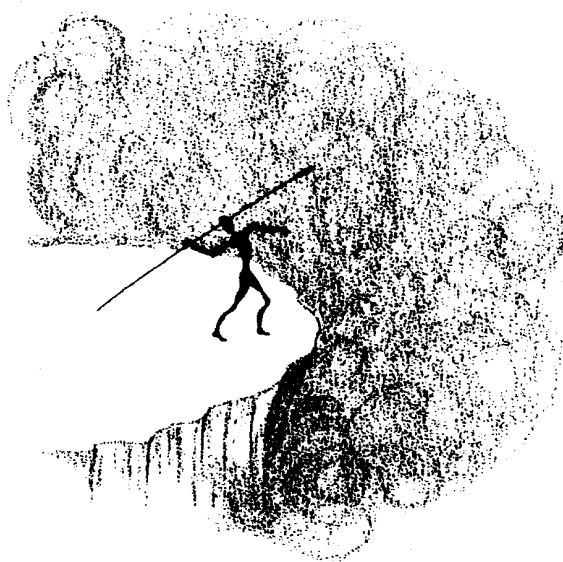


Figura 26. O que acontecerá a uma lança projetada em direção ao 'limite' do universo?[31]

## Imagens que questionam, diretamente, o aluno

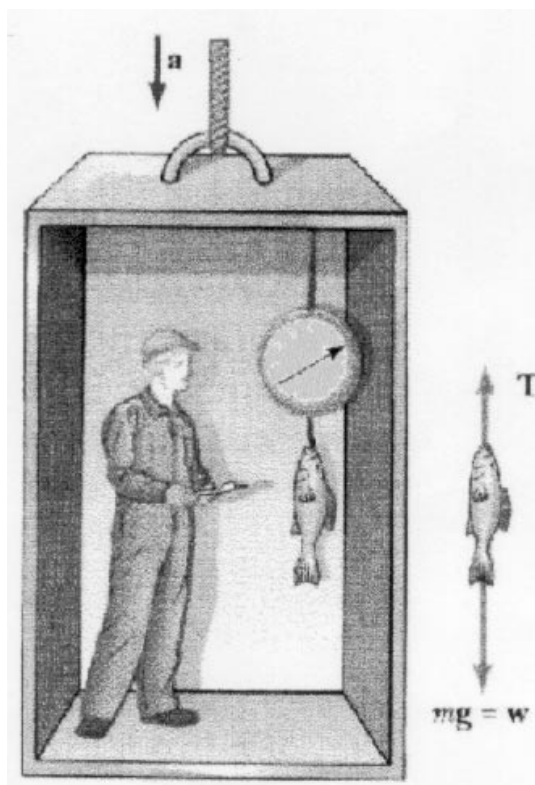


Figura 25. O peso aparente de um peixe no interior de um elevador que desce com uma aceleração constante é maior, menor ou igual ao peso que possui dentro de um elevador em movimento com velocidade constante? [30]  
Agora você já pode responder a seguinte questão: Um vendedor desonesto preferia vender (tendo que pesar) a sua mercadoria em um elevador parado, subindo com aceleração constante ou descendo com aceleração constante?

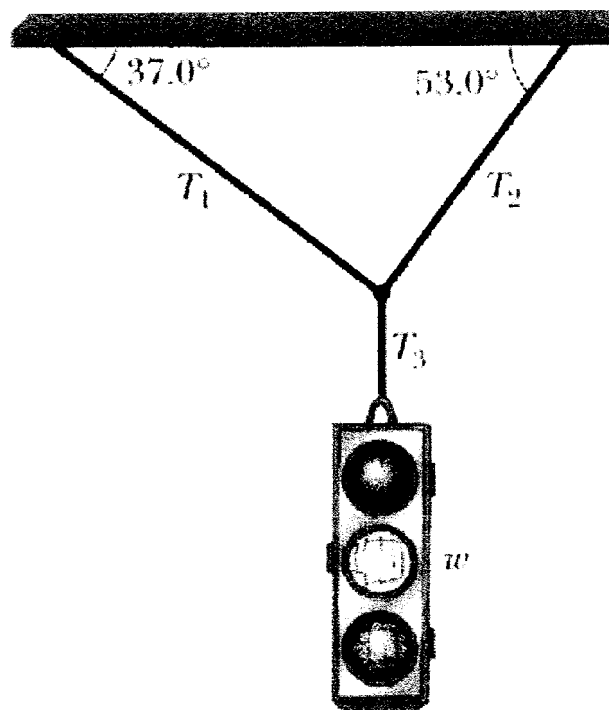


Figura 27. Relacione, vetorial e escalarmente, as forças existentes nos fios de sustentação da sinalizadora.[30]

Imagens que, necessariamente, resultam estéreis ao estudante sem a fundamentação teórica do texto

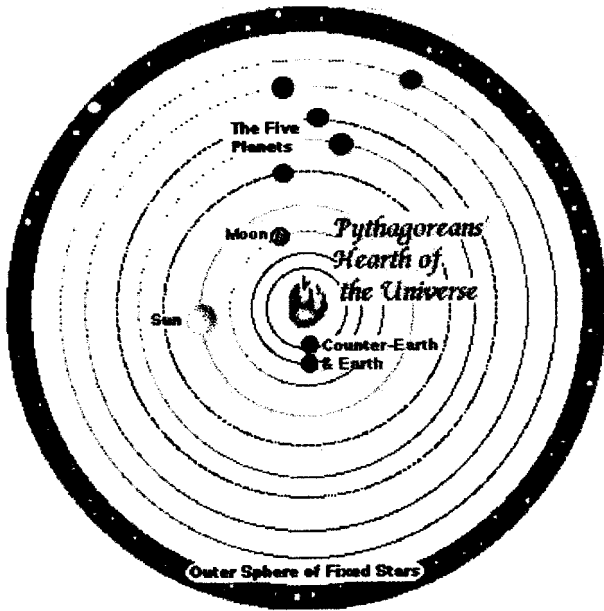


Figura 28. O sistema cosmológico de Filolau de Taranto (480-400 a.C.).[32]

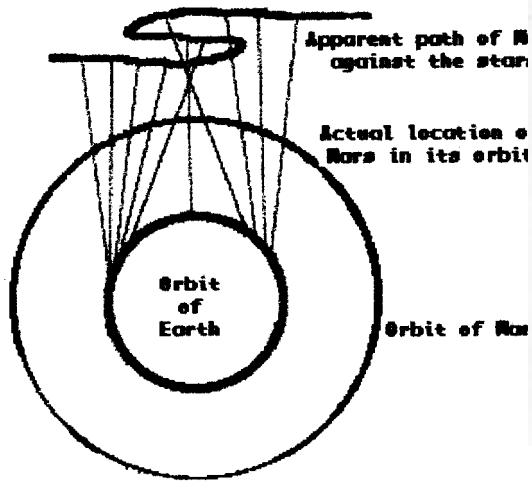


Figura 29. O movimento retrógrado de Marte no sistema heliocêntrico.[33]

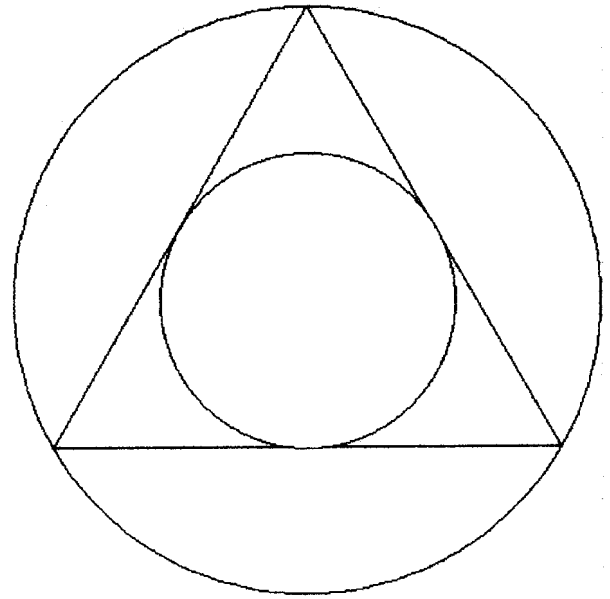


Figura 30. Esta figura da geometria plana contém a essência da ideia que direcionou Kepler à construção do que ele imaginava ser o 'esqueleto invisível' do universo.[34]

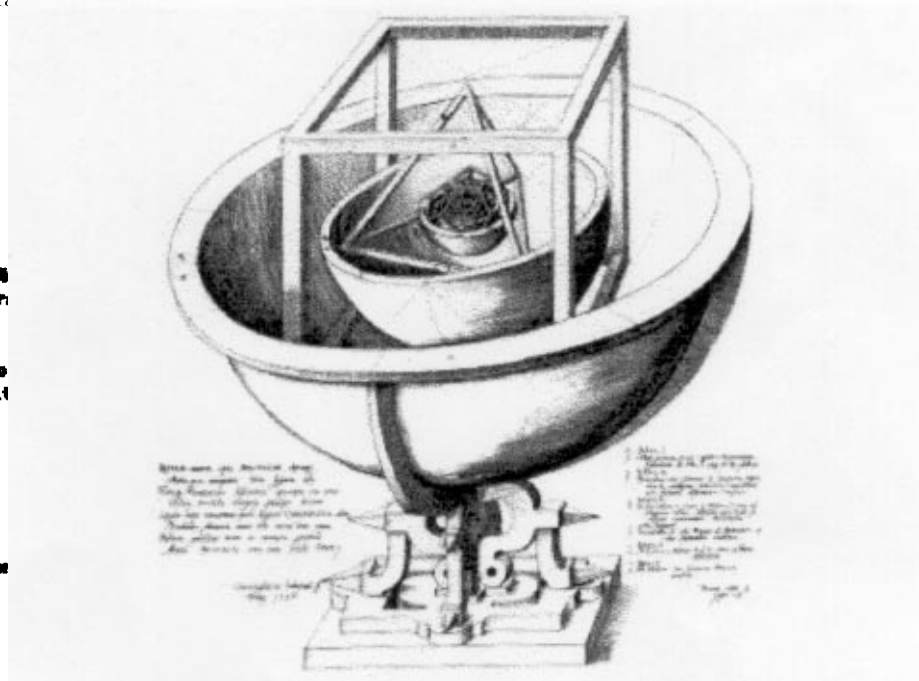


Figura 31. O 'esqueleto invisível' do universo para Kepler.[35]



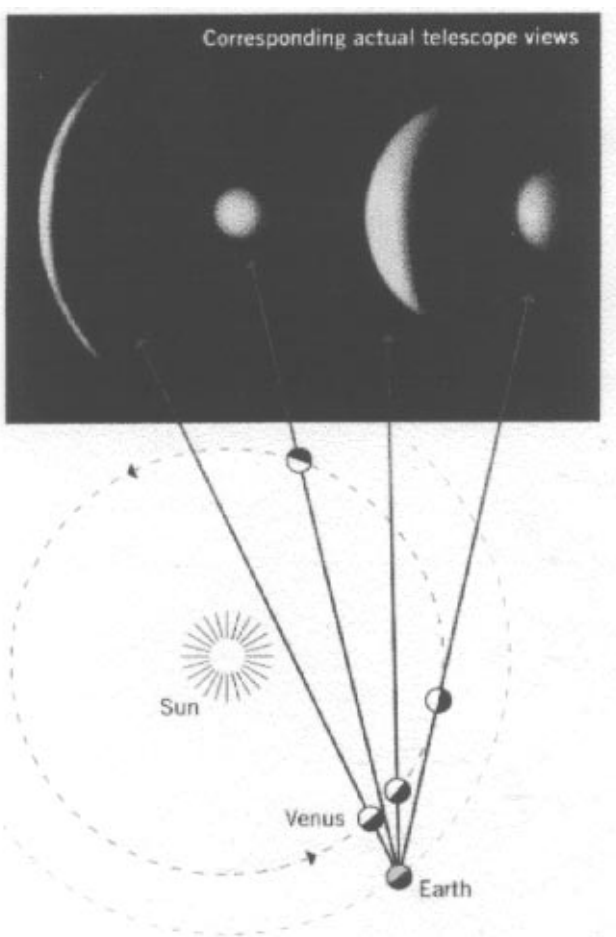


Figura 32. As fases de Vênus no modelo copernicano.[22]

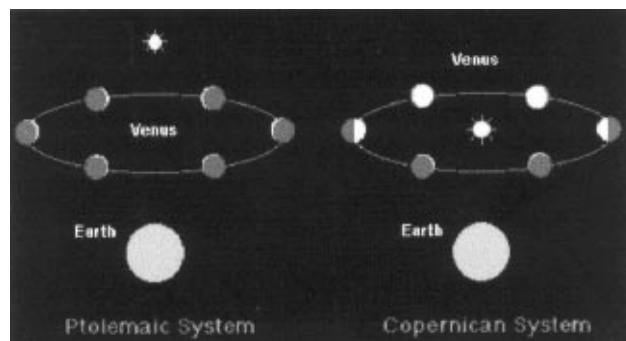


Figura 33. As fases de Vênus no sistema ptolomaico e no sistema copernicano.[36]

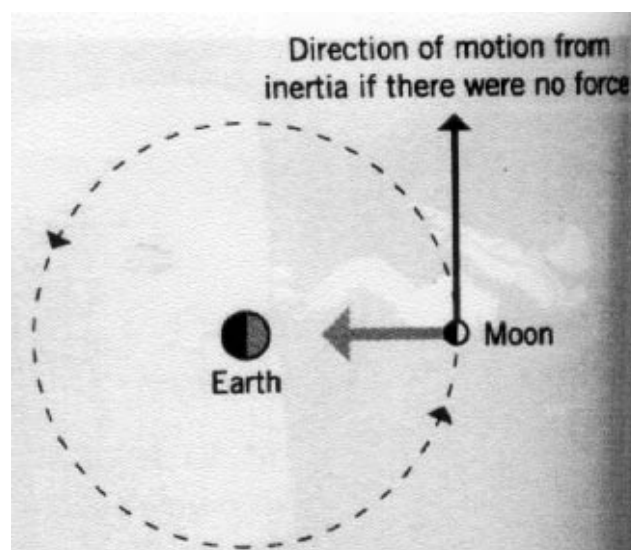


Figura 34. A 'sugestão' ou 'legado' de Hooke e Newton, segundo a qual o deslocamento de um corpo em trajetória curvilínea é o resultado da combinação de dois movimentos: um inercial, ao longo da tangente à curva e outro atrativo, em direção ao centro da trajetória.[22]