

JAN TORRES LIMA

UTILIZAÇÃO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS NO ESTUDO DA
GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

São Leopoldo

2006

JAN TORRES LIMA

UTILIZAÇÃO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS NO ESTUDO DA
GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Instituto Humanitas
Licenciatura em Física

Orientador: Fernando Haas

São Leopoldo

2006

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Fernando Haas por aceitar orientar este trabalho;

Agradeço aos meus professores os quais transmitiram a mim todo conhecimento aqui empregado;

Agradeço em especial minha família, bem como a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho;

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo abordar o Ensino a distância num novo método de ensino de física. Utilizando os avanços tecnológicos da informática, foi elaborada uma página da *Internet* contendo recursos como ilustrações, animações e simulações, permitindo uma maior interação entre conteúdo e aluno.

Este material pode ser usado tanto em sala de aula pelo professor como acessado pela *Internet* pelo aluno em casa. Através de meios de comunicação como *chat* e *e-mail*, o professor pode propor atividades extraclasse que utilizem a página e complementem o ensino da sala de aula.

É uma tentativa de avançar num novo paradigma de ensino, buscando na informática a ferramenta necessária para esta mudança.

Palavras-Chave:

Ensino de física – Ensino a distância - Recursos Computacionais

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	6
1 ENSINO A DISTÂNCIA: ORIGENS E PERSPECTIVAS ATUAIS	7
2 UM NOVO PARADIGMA EDUCACIONAL	9
2.1 MÉTODOS DE INTERAÇÃO DO ENSINO A DISTÂNCIA.....	12
2.2 MODELOS DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA	13
3 ELABORAÇÃO DE UMA PÁGINA HTML.....	16
3.1 USO DO HTML.....	17
3.2 OS PHYSLETS E SUA INTERAÇÃO COM OS ALUNOS	19
3.3 PHYSLETS E SUA RELAÇÃO COM OS APPLETS.....	20
3.4 ELABORANDO UM PHYSLET	21
3.4.1 Criando uma Função JavaScript.....	21
3.4.2 Inserindo um Physlets no Documento HTML	23
4 APOSTILA VIRTUAL DA LEI DE GRAVITAÇÃO UNIVERSAL	26
4.1 CARACTERÍSTICAS DA APOSTILA VIRTUAL.....	26
4.2 LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL	29
4.2.1 Newton e a Gravitação Universal;.....	29
4.2.2 Cavendish e a Determinação da Constante de Gravitação Universal.....	31
4.3 PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO	34
4.3.1 Casca Esférica	34
4.3.2 Túnel no Centro da Terra.....	37
4.4.1 A Primeira Lei de Kepler - Lei das Órbitas	41
4.4.3 A Terceira Lei de Kepler - Lei dos Períodos	44
4.5 ENERGIA DE UM OBJETO NUM CAMPO GRAVITACIONAL.....	46
4.5.1 Energia Potencial Gravitacional.....	46
4.5.2 Energia Cinética	49
4.5.3 Energia Mecânica Total	49
4.6 TRAJETÓRIAS DE OBJETOS NUM CAMPO GRAVITACIONAL	49
4.6.1 Órbita de Satélites, Planetas e Objetos	50
4.6.2 Potencial Efetivo	51
4.6.2.1 Órbitas Circulares	52
4.6.2.2 Órbitas Elípticas	53
4.6.2.3 Órbitas Parabólicas	53
4.6.2.4 Órbitas Hiperbólicas	54
4.6.3-Órbitas e Energias	54
4.7 FORÇA DE MARÉ.....	56
4.7.1 A Origem do Problema das Marés	57
4.7.2 Compreendendo o Fenômeno das Marés.....	57
5 APLICAÇÃO DA APOSTILA VIRTUAL	59
CONCLUSÃO.....	61
OBRAS CONSULTADAS	62

INTRODUÇÃO

A educação ao longo de sua história vem sofrendo diversas mudanças, sempre primando maximizar a transmissão do conhecimento. Na mesma medida, a tecnologia obteve também grandes avanços. Especificamente no último século, o invento do computador proporcionou um grande impulso ao desenvolvimento da humanidade.

Inicialmente, esta contribuição estava direcionada às áreas acadêmicas da matemática e da física, auxiliando na solução de problemas e resolução de cálculos extensos. Em alguns casos, era inviável realizá-los manualmente. Devido aos elevados custos, estas máquinas não tinham condições de estar ao alcance de professores e alunos. Porém, a partir da criação do *pc* (*personal computer*), o computador se tornou um bem acessível à boa parte da população, possibilitando reverter este quadro.

Atualmente o computador está inserido direta ou indiretamente em nosso dia-a-dia. Utilizamos-lo nas tarefas de nosso trabalho, nas horas de lazer, além deste ser um prático meio de comunicação. Neste amplo contexto podemos conciliar esta multiplicidade de recursos a algumas formas de ensino. O seu uso pode ser feito de duas maneiras:

A primeira trata de utilizar o computador como elo de comunicação entre o professor e alunos, e entre alunos. Através das diferentes formas de comunicação professor pode utilizar esta ferramenta para propor atividades, esclarecer dúvidas, ao mesmo tempo em que os alunos podem também se comunicar entre si para resolverem determinadas tarefas.

A segunda aplicação trata da produção de material instrucional utilizando recursos computacionais. Esta opção vem obtendo uma crescente procura. O uso de simulações proporciona um novo modelo de ensino de física, onde o aluno interage com o conteúdo de uma forma que em alguns casos da física, isto seria impossível.

O objetivo deste trabalho será apresentar uma forma de ensino de física que possa utilizar o computador nestas duas formas. Um material interativo usado pelo aluno tanto em casa como na sala de aula.

Serão apresentadas algumas formas de interação baseadas no Ensino a distância, suas perspectivas atuais, bem como algumas formas de produção de material instrucional utilizando recursos computacionais.

1 ENSINO A DISTÂNCIA: ORIGENS E PERSPECTIVAS ATUAIS

Em sua origem, o Ensino a Distância (EAD) consistia em suprir a necessidade de transmitir ensinamentos religiosos a locais distantes, através da escrita e o uso do transporte. Em meados do século XIX, a revolução industrial gerou condições para o desenvolvimento de novas tecnologias fora deste contexto religioso. A criação da tipografia possibilitou elaborar livros e apostilas, os quais utilizavam o sistema de correspondência para entregá-los. Entre os principais beneficiados, estavam pessoas sem acesso a escolas e que procuravam aspirar melhores condições e qualidade de vida. Já no último século, o avanço nas comunicações e o desenvolvimento da eletrônica possibilitaram a implementação do rádio, da televisão e, inclusive, o uso de fitas K-7 e de vídeo. Recentemente, a informática foi incorporada a esta modalidade de ensino, gerando mudanças ainda nem pensadas por nós, mas que futuramente poderão ser incorporadas a nossa realidade.

Atualmente o EAD vem crescendo e se difundindo cada vez mais. Ao contrário de um tímido surgimento, hoje o presenciamos em diferentes modalidades. Quem já não assistiu a uma *teleaula* do *Telecurso 2000*? Ou então não ouviu falar do *Instituto Universal Brasileiro*?

Assim como estes dois exemplos, existe uma variedade de cursos voltados ao ensino assistido à distância. No âmbito da educação superior existem diversas instituições de diferentes países que utilizam esta forma de ensino como ferramenta de aprendizagem. Entre elas podemos citar duas:

Open University – Localizada na Inglaterra, é uma escola de ensino superior para adultos. Através de cursos de fácil acesso e preços favoráveis, oferece uma segunda chance para pessoas adquirirem acesso à formação superior. Utiliza material didático impresso, mídias tipo fita VHS e meios de comunicação em massa como rádio e televisão. Os públicos alvos são pessoas que não possuem disponibilidade de freqüentar uma universidade normalmente, pois não conseguem conciliar o trabalho com os estudos.

University of South Africa – Pioneira no ensino superior à distância, tem como principal objetivo não somente conceder uma segunda chance, mas a primeira também. Antigamente a severa segregação racial não permitia o acesso de negros à universidade. Boa parte de jovens políticos de outras nações africanas estudaram clandestinamente para obter uma melhor formação. Entre os diversos estudantes, temos *Nelson Mandela*. Atualmente esta primeira chance é direcionada a estudantes que não possuem meios de freqüentar estabelecimentos de ensino superior, devido à distância que estes se encontram de suas residências. Os materiais utilizados são apostilas impressas, bem como uso de cartas de aconselhamento (*tutorial letters*). Os alunos enviam também cartas contendo respostas de tarefas propostas, as quais são avaliadas, corrigidas e reenviadas com comentários por professores.

Nesta breve apresentação de exemplos, vimos que existem diferentes métodos adaptados às diferentes realidades. Um dos fatores relevantes no EAD superior são as peculiaridades pertinentes a cada estrutura social e cultural. Utilizando ainda como exemplo as duas instituições citadas anteriormente, podemos ver que na *University of South Africa* o uso de material didático impresso via sistema de correspondência, apesar de ser um modelo antigo, é a alternativa que melhor se adapta à realidade deste continente. Boa parte dos alunos não possui acesso a recursos eletrônicos, nem mesmo sabem operá-los.

Esta diversidade de situações implica uma grande quantidade de modalidades de EAD voltadas para o ensino superior. Veremos durante este trabalho quais são estas modalidades, procurando aplicá-las numa forma de ensino de física que complemente as atividades da sala de aula.

2 UM NOVO PARADIGMA EDUCACIONAL

O EAD remonta uma história de aproximadamente 150 anos. Neste intervalo de tempo, os diversos profissionais da área desenvolveram diferentes abordagens a fim de superar todos os obstáculos. Desta forma, não podemos ignorar toda esta bagagem de experiência. Por outro lado, o surgimento de novas mídias eletrônicas de informação e comunicação aplicadas na aprendizagem trouxe a necessidade de trabalhar novos objetivos educacionais. Isto sugere a necessidade de um novo paradigma educacional. Veremos o que consiste este novo paradigma educacional e qual é a sua contribuição para o ensino em sala de aula.

A palavra paradigma está associada aos seguintes vocábulos no dicionário: *sm* 1. Modelo; padrão; 2. modelo ou tipo de conjugação ou declinação gramatical.(AMORA, 1997). Quanto ao primeiro sentido, remonta à hipótese de que paradigma educacional está associado a um novo modelo de ensino. Sendo assim, ao falar em mudança de paradigma, esta expressão indica que estas idéias e modelos serão substituídos por outros. Petters descreve bem este primeiro significado:

... certos modelos que não existem mais porque novos modelos e padrões que diferem dos antigos de modo marcante os substituíram [...] não estamos lidando com um processo transitório no campo da educação [...] mas sim com uma mudança repentina... (PETTERS, 2003).

O fato de um novo modelo de ensino estar substituindo outro implica que temos que nos adaptar a ele. Petters, por outro lado, acredita que nós professores temos que ir muito mais além deste sentido.

Não é suficiente nos adaptarmos às novas circunstâncias. Temos que repensar a educação, planejar novamente o ensino e a aprendizagem e implementar tudo de novas maneiras sob novas circunstâncias. É necessária uma reorganização estrutural ampla do ensino e da aprendizagem (PETTERS, 2003).

Num aspecto geral, sempre ocorreram mudanças de paradigmas educacionais ao longo do tempo. Desde a tradição do ensino oral de filosofia na Grécia, modificada pelo surgimento da escrita (possibilitando o estudo sem a presença do professor), chegando à impressão tipográfica e sua distribuição através de um sistema de correspondência, estas mudanças ocorreram afastadas entre si por longos intervalos de tempo.

Mudanças de paradigmas sempre irão ocorrer. Esta é uma tendência evolutiva inerente a humanidade. Mas ao contrário do acontecido no passado, a transição que o ensino está sofrendo nos dias de hoje difere totalmente do então até agora visto.

...nem todas juntas podem competir com drástica mudanças e as dramáticas conseqüências que são causadas pela mudança de paradigma educacional que estamos testemunhando e experimentando hoje. (PETTERS, 2003).

Atualmente não podemos falar de apenas uma mudança de paradigma, haja visto não existir uma específica, mas de diversas influenciando-se mutuamente. São definidas como “mudanças de paradigmas” (PETTERS, 2003). E diferentemente do que muitos acreditam ou pensam, as atuais mudanças não são necessárias ou desejadas apenas pelo surgimento de novas mídias eletrônicas de informação e comunicação. As criações destas novas possibilidades não instigaram seu uso por professores, instituições de ensino e governos.

Num aspecto geral, existem diversos fatores que contribuíram para seu uso. Em síntese, destacam-se as constantes mudanças sociais, políticas, econômicas, culturais as quais nossa sociedade pós-moderna vem experimentando nas últimas décadas. Na mesma medida que influenciam na sociedade e nas inter-relações de seus indivíduos, influenciam inclusive no modo de pensar das pessoas.

Este novo modo de pensar da pós-modernidade, classificado como “si mesmo pós-moderno” (PETERS, 2003), possui algumas características peculiares (PETERS, 2003 apud WOOD e ZUCHER, 1988):

- a) Rejeita esperar pela recompensa dos seus esforços e a quer de imediato;
- b) Não está disposto a suportar sofrimento, porém desenvolve em seu lugar a capacidade de se divertir;

- c) Recusa-se a fazer trabalhos rotineiros e sem sentido, pelo contrário deseja fazer algo significativo;
- d) Não está interessado em objetivos materialistas, mas sim na realização de valores humanos;
- e) Não está interessado em realizações, mas na auto-realização;
- f) Não gosta de autocontrole, mas gosta de auto-expressão;
- g) Não quer se isolar, mas está interessado em relações sociais e interatividade;

Esta mudança cultural implica numa nova adaptação do ensino. Especificamente no EAD tradicional, o ensino expositivo e a aprendizagem receptiva darão lugares a aprendizagem autônoma e auto-regulada. Já no ensino tradicional, esta nova realidade traz a possibilidade de um ensino expositivo e aprendizagem receptiva aliada à aprendizagem autônoma e auto-regulada.

Computadores em rede, como a (*www*) *world wide web*, possibilitam um novo tipo de realidade, onde o aluno tem acesso a informações de todo o mundo. Ao contrário do modelo de ensino que estamos acostumados a lidar, onde o professor estabelece conteúdos e sua seqüência de ensino, os alunos terão autonomia de escolher seus próprios caminhos e conteúdos. Não há objetivos definidos. Estes são descobertos pelos alunos na medida em que navegam e pesquisam. “Não se espera que o estudante siga um caminho prescrito da mesma maneira, mas sim descubra um caminho individual à sua própria maneira” (PETTERS, 2003).

O EAD é uma realidade que se tornou presente no ensino superior, direcionado para os alunos que almejam uma melhor formação, ao mesmo tempo em que tentam conciliar sua vida profissional e familiar. É uma educação basicamente de adultos.

Em contrapartida, podemos utilizar essa essência contida neste novo paradigma do EAD, juntamente com o ensino em sala de aula. Esta modalidade poderia ser classificada como um *estudo complementar orientado*. Nela o professor propõe atividades a serem realizadas fora do período de aula, servindo apenas como um orientador.

Para estabelecer este tipo de ensino orientado, faz-se necessário conhecer alguns métodos de interação. O enfoque do próximo capítulo será abordar estes métodos, alguns exemplos, além de suas vantagens e desvantagens.

2.1 MÉTODOS DE INTERAÇÃO DO ENSINO A DISTÂNCIA

As interações sociais serão também modificadas. A utilização do computador como ferramenta de aprendizagem pode também criar novas modalidades de interações interpessoais. Uma breve avaliação do EAD tradicional mostra que ele estava condicionado apenas a transmissão de conteúdos. O aluno recebia suas apostilas já impressas, ou assistia vídeoaulas sem poder tirar suas dúvidas.

O uso do computador possibilitou novas “interações virtuais” (PETTERS, 2003). Atualmente, o uso de meios de correspondência como correio eletrônico (*e-mail*), *chats* e *FAQ's* (*fórum answer and questions*) permitem uma maior interação entre pessoas, sendo inclusive algumas de maneira instantânea. Do ponto de vista educacional, esta é uma excelente oportunidade de ocorrer uma nova interação entre docente e discente. Nela, por exemplo, professores podem propor aos alunos atividades extraclasse. Devido às diferentes modalidades existentes, estas podem ser adaptadas em diferentes contextos e situações.

Estas formas de interação à distância como intermediário entre professores e alunos foram classificadas em quatro “métodos de interação do EAD” (PAULSEN apud PETTERS, 2003, p. 60).

- a) O método eu-sozinho (Paradigma *www*): Basicamente este método consiste num único aluno estudando apenas com o auxílio da *Internet* ou *softwares*. Pode ser tanto a realização de atividades propostas por algum *software* bem como questionários, charadas, montagens publicadas na *Internet*. A principal desvantagem deste método é o fato do aluno não possuir nenhuma forma de interação interpessoal.
- b) O método um-a-um (Paradigma do *e-mail*): No método um a um, o usuário (professor) interage com um único usuário (aluno) à distância. É o que acontece, por exemplo, na troca de mensagens eletrônicas via *e-mail*. O aluno pode receber atividades do professor-orientador via *e-mail*, bem como solucionar suas dúvidas. A principal vantagem deste método está no fato de ser uma orientação individual, possibilitando uma maior interação entre o professor e aluno. Como desvantagem, este método restringe as atividades do professor a um aluno, o que é inviável do ponto de vista econômico-pessoal.

- c) O método um-a-muitos (Paradigma do BBS - *Bulletin Board System*): O professor dirige-se uma grande quantidade de alunos através de computadores ligados em rede. A *www* consiste num tipo de BBS. Nela, o professor disponibiliza conteúdos, apresentações, além de possibilitar os diferentes tipos de comunicação entre usuário.

- d) O método muitos-a-muitos (paradigma da teleconferência): Este método consiste numa grande quantidade de pessoas interagindo simultaneamente ou não. Todos discutem, debatem entre si na elaboração de projetos ou na solução de problemas. Entre os meio de comunicação disponíveis estão os *FAQ*, *chat* e conferências por computador.

Uma vez apresentados os métodos de interação e suas características, o próximo passo será elaborar um material que atenda as nossas necessidades. Sendo assim, faz-se necessário conhecer os diferentes modelos de EAD para então podermos escolher um específico.

2.2 MODELOS DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

Atualmente o EAD é constituído por diversos segmentos de ensino-aprendizagem, os quais não possuem forma fixa ou definida. Esta afirmação indica que a definição de EAD é algo muito além daquilo que conhecemos, ou imaginamos, pois à medida que o tempo avança e a humanidade se desenvolve, novos modelos de EAD vão surgindo. Destaca-se então aquilo que seria a verdadeira essência do EAD.

Esta aprendizagem não é apenas aprendizagem convencional com a ajuda de uma mídia técnica em particular. É uma abordagem totalmente diferente, com estudantes, objetivos, métodos, mídias, estratégias diferentes e acima de tudo objetivos diferentes na política educacional. A educação a distância é *sui generis* (PETTERS, 2003).

Servindo apenas como uma breve introdução, serão apresentados alguns dos modelos existentes. Estes sete modelos de EAD abaixo foram classificados por Petters, sendo que na realidade, estes formam um conjunto muito mais abrangente.

- a) Modelo Preparação do Exame: Este modelo consiste no estudo por conta, apoiado por material didático, com a finalidade de obter um diploma ou certificado, especificamente universitário. É direcionado a estudantes que não têm acesso a universidade, necessitando obter um diploma através do EAD;
- b) Modelo da Educação por Correspondência: Consiste na forma mais tradicional do EAD, onde o aluno recebe textos e apostilas, além de um suporte de dúvidas e exercícios por correspondência. Existe há cerca de 150 anos e com o uso de novas tecnologias, pode perder sua importância deixando até mesmo de existir;
- c) Modelo Multimídia (de massa): Consiste basicamente no uso integrado do rádio e da televisão, junto de material didático impresso. Pode conter apoio ao estudante ou não através de um centro de estudos. O exemplo mais conhecido no Brasil a ser citado é o *Telecurso 2000*, onde o aluno assiste as teleaulas na rede de televisão aberta;
- d) Modelo de EAD em grupo: Possui uma certa semelhança ao modelo anterior, pelo uso da televisão e do rádio. Porém, ao invés de ser uma atividade individual, é realizada numa sala onde uma turma de alunos assiste ou ouve as aulas e toma nota dos principais tópicos. Não existe suporte de material didático, mas sim um instrutor que realiza tarefas e testes;
- e) Modelo de Aluno Autônomo - Nele o aluno possui autonomia completa. A forma de ensino expositivo dá lugar a um ensino orientado, onde o aluno decide os propósitos, objetivos, conteúdos e inclusive a avaliação do seu desempenho. O professor serve como facilitador do conteúdo, orientando um determinado grupo de alunos. Estes se reúnem, apresentam e discutem seus objetivos e resultados. Como única desvantagem, existe a restrição de um professor orientar um número restrito de alunos, o que vai de encontro a um dos objetivos do EAD (direcionar a uma grande quantidade de alunos);
- f) Modelo de Ensino em Sala de Aula Entendido Tecnicamente - Apesar de parecer algo fora do contexto de nossa educação, foi amplamente desenvolvido por universidades dos Estados Unidos. Consiste na transmissão da aula de um professor via cabo, satélite ou vídeo conferência. Esta é feita em tempo real, possibilitando que um único professor possa dar aula a diversas turmas;

- g) Modelo de EAD Baseado na Rede - Em definição original, este modelo utiliza um ambiente informatizado de aprendizagem, ou seja, o aluno pode utilizar programas, banco de dados trabalhando tanto *on-line* como *off-line*. Este ainda possibilita o uso de *CD-ROM's* com cursos de EAD em *hipertextos*. Os alunos participam de grupos de discussões, bate-papos, bem como são orientados num ambiente de rede. Como maior vantagem deste modelo, Petters destaca o fato do aluno poder manipular dados de maneira autônoma, fazendo suas próprias descobertas.

Os modelos apresentados acima não constituem uma forma fixa ou definida de EAD. O uso deles está condicionado a necessidade do professor aliada à realidade dos alunos.

Após esta breve síntese dos diferentes modelos e métodos de EAD, podemos ter uma noção dos diferentes tipos de enfoque desta modalidade de ensino. Deste ponto em diante, podemos partir então para a elaboração de nossa apostila virtual.

Encerramos esta primeira parte do trabalho lembrando que as perspectivas atuais do ensino apontam cada vez mais o estudo informatizado presente no cotidiano tanto do professor como do aluno. O estudo desta nova perspectiva é de extrema importância, pois o acréscimo de novas tecnologias não implica necessariamente em numa nova forma de aprendizagem.

3 ELABORAÇÃO DE UMA PÁGINA HTML

Deste ponto em diante começo a apresentar a proposta deste trabalho. Utilizando como guia o **Modelo de EAD Baseado na Rede** foi proposto o seguinte objetivo:

Elaborar um material didático num ambiente informatizado, que possibilite ao aluno a realização de tarefas e manipulação de dados autonomamente, tanto em sala-de-aula quanto em casa.

Utilizando o sistema de correio eletrônico (*e-mail*), o professor pode propor atividades bem como solucionar dúvidas de aula. De acordo com os “métodos de interação do EAD” (PAULSEN apud PETTERS, 2003, p. 60) apresentados anteriormente, esta proposta é um misto entre o **método um-a-muitos**, **método eu sozinho** e **método muitos-a-muitos**. Isto somente é possível satisfazendo duas condições:

- h) Turma de alunos ter acesso a um laboratório de informática;
- i) Alunos terem acesso a um computador em casa conectado à *Internet*.

O passo seguinte à definição do problema é a elaboração do material didático num ambiente informatizado. O uso de *hipertextos* em *HTML* (*hypertext markup language*), classificada como uma linguagem de fácil manipulação, permite a inserção de *hyperlinks*, animações e simulações. Qualquer computador que possua o *software Microsoft® Internet Explorer® 5.0* poderá executar tais documentos, permitindo a elaboração e o uso de apostilas virtuais.

Para o uso de animações temos a alternativa de elaborar *gif's* (*graphics interchange format*), as quais consistem basicamente num conjunto de figuras apresentadas uma a uma automaticamente. Os diversos conjuntos de figuras foram elaborados no *software Mathematica® 5.0*, o qual permite simular uma grande quantidade de fenômenos da física quadro a quadro. A montagem é feita através de programas que organizam o conjunto de figuras. Entre os diversos existentes temos o *Microsoft® Gif Animator*.

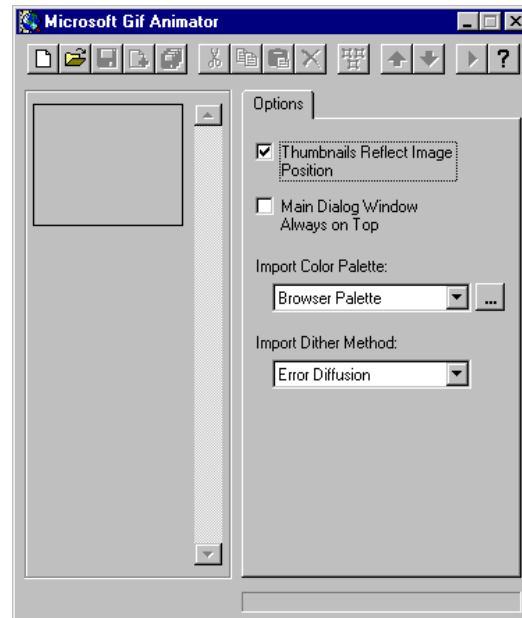


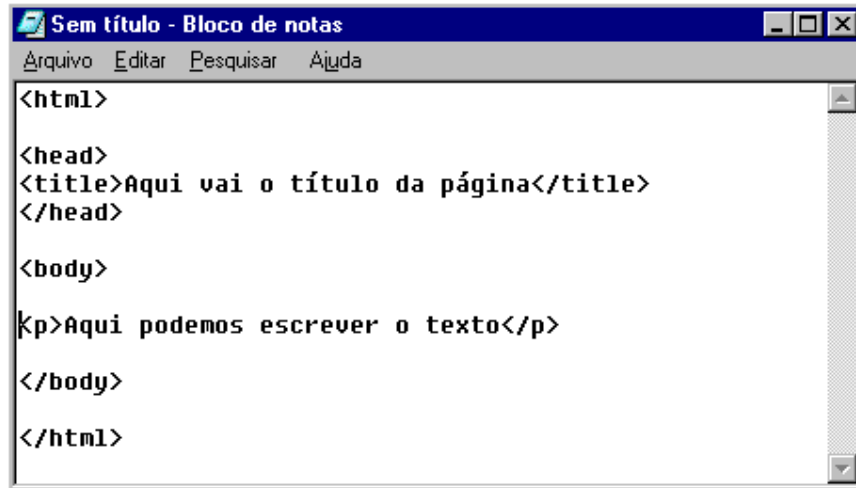
Figura 01: *Microsoft® Gif Animator*

Já as simulações podem ser elaboradas através da criação de *applets*, que num caso particular da física, são denominados *physlets*. Nos próximos capítulos serão apresentadas idéias básicas do *HTML* bem como em que consistem os *physlets*, e qual a diferença entre eles e os *applets*.

3.1 USO DO HTML

Com a implementação da *www* foi necessária uma linguagem que permitisse a elaboração das chamadas páginas da *Internet*. Isto foi possível graças ao *HTML*. Esta linguagem possui uma forma bem simples de manipulação, utilizando as chamadas *tags* (etiquetas). Estas permitem formatar textos, inserir figuras, criar atalhos, executar programas *Java*, etc.

Para elaborar uma página de *Internet* (documento *HTML*), podemos usar programas editores, os quais encontramos gratuitamente na própria *Internet*, ou até mesmo o software *Bloco de notas*, disponível em todas as versões do sistema operacional *Windows®*. Uma das grandes vantagens em utilizar programas editores são suas ferramentas. Estas disponibilizam todos tipos de *tags*, permitindo inserir facilmente vídeos, figuras e imagens, além da visualização do documento *HTML* a cada alteração realizada no *código-fonte*.

A screenshot of a Notepad window titled "Sem título - Bloco de notas". The window has a menu bar with "Arquivo", "Editar", "Pesquisar", and "Ajuda". The text area contains the following HTML code:

```
<html>
<head>
<title>Aqui vai o título da página</title>
</head>
<body>
<p>Aqui podemos escrever o texto</p>
</body>
</html>
```

Figura 02: Composição básica de um documento *HTML*

Compreende-se por *tag* o conjunto entre texto e os símbolos `<>`. Para cada *tag* iniciada (`<title>` por exemplo), devemos encerrá-la utilizando uma barra (`</title>`). Na figura acima, aparecem quatro diferentes tipos de *tags*, as quais são necessárias para elaborarmos um documento *HTML* (**html**, **head**, **title**, **body**). A seguir uma breve explicação das mesmas.

A *tags* `<html>` servem para indicar que um novo documento *HTML* está sendo escrito. Todo o conteúdo que desejamos colocar em nossa página deve estar entre elas. A seguir temos as *tags* `<head>`, as quais indicam o cabeçalho do documento. Conforme apresentarei mais tarde, podemos inserir funções em *JavaScript* neste local também. As *tags* `<title>` servem para colocar o nome desejado do documento na barra de título de nossa página. Finalmente usamos as *tags* `<body>`, ou seja, o corpo do documento. Todo texto inserido entre estas *tags* será exibido quando visualizarmos nossa página.

Caso queiramos visualizar a página, devemos inicialmente salvar este documento. Para tal tarefa, selecionamos o menu *Arquivo* do programa *Bloco de notas*, opção *Salvar como...* . Quando abrir a janela para indicar o local e o nome do arquivo a ser criado, devemos inserir a extensão *html* no nome do arquivo. Assim o computador converte este documento de texto em documento *HTML*. Podemos agora visualizar nossa página da *Internet* criada na figura abaixo:

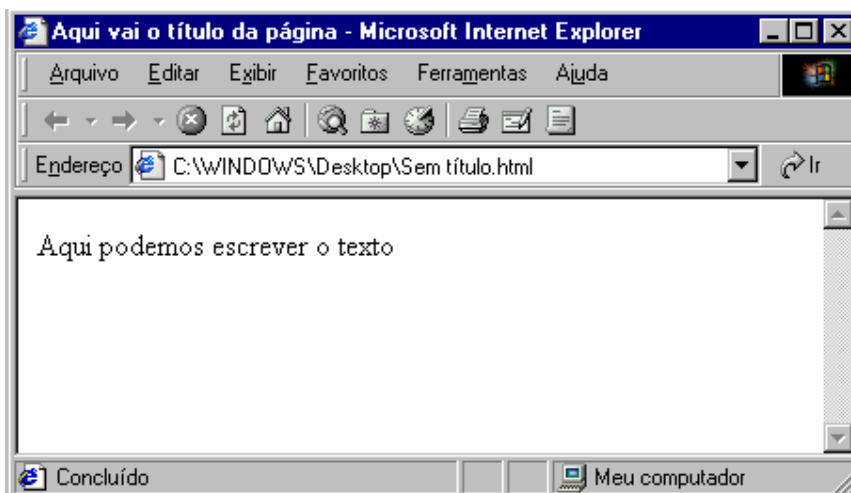


Figura 03: Apresentação da página *HTML*

Agora, caso haja necessidade de modificar nossa página, podemos visualizar o *código-fonte* acessando o menu **Exibir**, opção **Código Fonte**. Para qualquer página *HTML* localizada na *Internet*, podemos acessar seus *códigos-fonte* utilizando este procedimento.

No *software Bloco de notas*, é necessário o conhecimento de diversas *tags* para formatar uma página de acordo com nossas necessidades, além de um maior esforço para executar alterações.

Um programa editor, como o *software MAX'S HTML EDITOR*, torna mais fácil editar uma página, pois a cada alteração podemos alternar entre a exibição do *código-fonte*, ou a exibição da página. Porém, a maior desvantagem é o fato dele ser uma versão em inglês, dificultando sua utilização para uma pessoa que possua pouco conhecimento deste idioma. Este *software* encontra-se disponível no sítio:

<http://www.htmlbeauty.com/download.beauty>.

3.2 OS PHYSLETS E SUA INTERAÇÃO COM OS ALUNOS

O estudo da física consiste na análise de uma série de fenômenos existentes na natureza. A análise destes permite extrair uma série de relações matemática, as quais utilizamos nas mais diversas áreas de conhecimento. No caso específico do ensino de física, estas relações são transmitidas a nossos alunos de diferentes formas: com palavras, equações, gráficos, diagramas, tabelas, números. Porém, muitas vezes estas formas de ensino não atingem plenamente este objetivo.

Uma das principais causas é o fato do aluno não conseguir representá-las mentalmente. O uso de ilustrações muitas vezes ajuda na solução deste problema, mas devido á sua natureza estática, elas não permitem que o aluno tenha uma correta compreensão do seu comportamento ao longo do tempo.

Com o uso dos *physlets* podemos representar o fenômeno estudado com as mesmas características que o encontramos na natureza. Ou seja, podemos atribuir a característica dinâmica que este possui, inclusive controlando sua evolução temporal.

Outro problema encontrado no ensino da física é a compreensão de tais relações matemáticas e as grandezas físicas existentes nelas. O uso da matemática na solução de problemas físicos está muito direcionado a encontrar um valor específico de tal grandeza. O estudo da física neste sentido deve ser muito mais amplo. O aluno deve compreender qual a influencia de tal variável no contexto geral do fenômeno.

Utilizando *physlets* as compreensões de equações que descrevam as propriedades físicas do sistema podem ser verificadas facilmente. Podemos alterar as grandezas físicas isoladamente verificando qual a sua influência num contexto geral do fenômeno.

Por último, a solução de problemas de física muitas vezes não permite que o aluno tenha uma total compreensão da situação que ele está solucionando. Eles recebem apenas o estímulo e tem que produzir uma resposta.

A simulação permite que o aluno possa interagir totalmente com a situação. Ele pode explorar o fenômeno de maneira totalmente autônoma, chegando as suas próprias conclusões.

3.3 PHYSLETS E SUA RELAÇÃO COM OS APPLETS

No ano de 1995 no *Davidson College* (Carolina do Norte – EUA), o professor de física *Christian Wolfgang* elaborou animações em *Java*, conhecidas como *applets*, para uma série de fenômenos da física nas mais diversas áreas (mecânica, eletricidade, magnetismo, ondas, etc). Assim ele designou estas simulações de *physlets* (fusão dos termos *physical applets*).

A origem dos *applets* remonta a 1995, quando sua criação possibilitou um feito revolucionário para a *Internet*. Este foi o primeiro conteúdo interativo distribuído como parte de uma página.

A elaboração de um *applet* é uma tarefa que exige um conhecimento profundo na linguagem *Java*. Basicamente esta consiste em criar um *arquivo-fonte* no *Bloco de notas*, semelhante ao *HTML*. A diferença é que depois de digitadas as linhas de comando, o arquivo-fonte deve ser compilado (converte o código-fonte em *bytecode* para o computador interpretar) para então ser inserido na página *HTML*. Estes arquivos recebem o nome de *classes*.

No caso específico dos *physlets*, os arquivos-fonte já foram elaborados e compilados. Assim, *physlets* obrigatoriamente são *applets*. Sua grande diferença/vantagem é o fato do programador não necessitar nenhum conhecimento na linguagem *Java*, apenas em *HTML* e *JavaScript*. O *JavaScript* serve para manipular os *physlets*, inserindo neles objetos (esferas, retângulos, vetores, cargas, etc) e caracterizando suas dimensões, cores, forças, posições, velocidades, massas, trajetórias, tempo de simulação, etc.

Para utilizar estas diferentes opções dos *physlets*, devemos seguir algumas regras que possibilitam o uso desta ferramenta de interação da física.

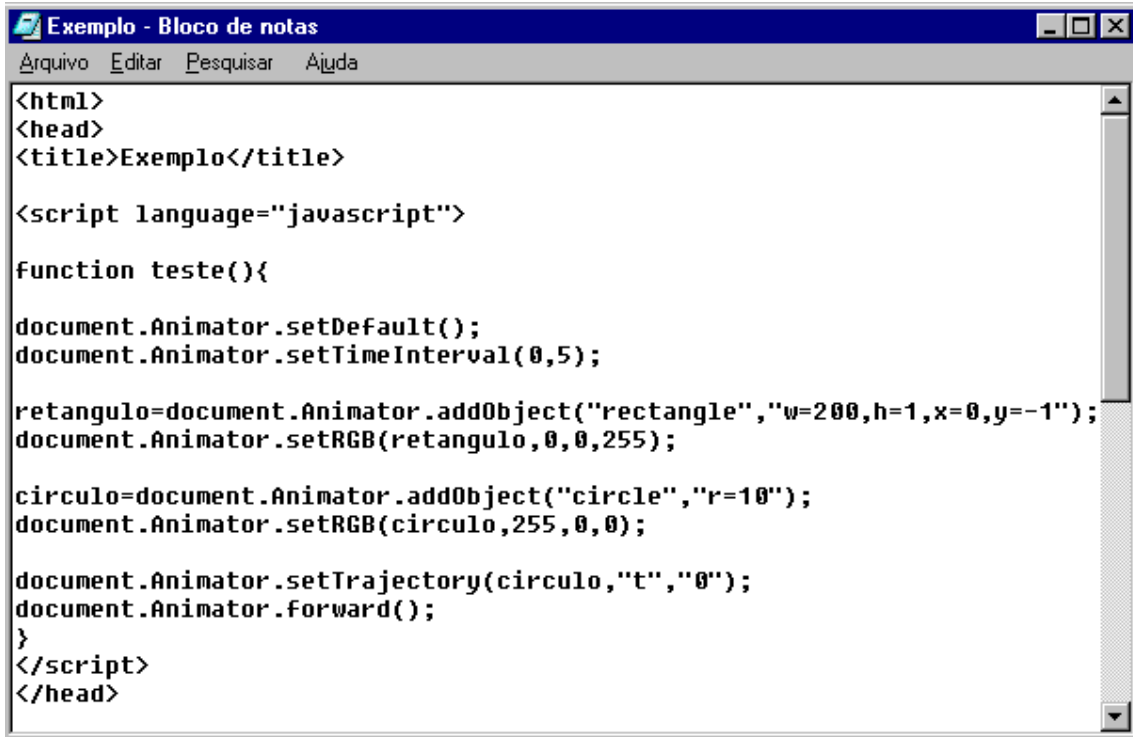
3.4 ELABORANDO UM PHYSLET

Inicialmente, será apresentado um exemplo simplificado de *physlet* onde o objetivo será compreender sua forma de manipulação.

3.4.1 Criando uma Função JavaScript

Para criarmos um *physlet*, inicialmente devemos criar uma função *JavaScript*. Esta deve vir localizada entre as *tags* **<script language = "JavaScript">** e **</script>**. Assim, o interpretador da linguagem *HTML* compreenderá que estamos criando uma função *JavaScript*. Estas *tags* poderão ser colocadas em qualquer parte do documento. Neste exemplo elas estarão entre as *tags* **<head>** e **</head>**

Para definirmos a função, digitamos **function teste() { }**. A palavra *function* define que será escrita uma função de nome teste. A rotina da função (aquilo que ela deverá fazer) estará localizada entre as chaves. Acompanhe a figura abaixo:



```

<html>
<head>
<title>Exemplo</title>

<script language="javascript">

function teste(){

document.Animator.setDefault();
document.Animator.setTimeInterval(0,5);

retangulo=document.Animator.addObject("rectangle","w=200,h=1,x=0,y=-1");
document.Animator.setRGB(retangulo,0,0,255);

circulo=document.Animator.addObject("circle","r=10");
document.Animator.setRGB(circulo,255,0,0);

document.Animator.setTrajectory(circulo,"t","0");
document.Animator.forward();
}
</script>
</head>

```

Figura 04: Modelo de função *JavaScript*.

Cada linha de comando entre as chaves indica o caminho onde estão as classes e determinam as tarefas que o *physlet* deve executar. Como exemplo **document.Animator.setDefault()**, indica que a função *Java* **setDefault()** está localizada em *document* (documento) dentro da *tag* chamada *Animator*.

Segue abaixo um breve resumo das linhas de comandos apresentadas na figura acima:

- a) **document.Animator.setDefault():** Cada vez que o *physlet* é iniciado esta linha de reseta todos os dados calculados, permitindo retornar a condição inicial;
- b) **document.Animator.setTimeInterval(ti,tf):** Permite definir o intervalo de tempo da simulação;
- c) **circulo=document.Animator.addObject("objeto","raio,x,y"):** Permite adicionar objetos. Estes podem ser círculos, retângulos ou imagens. Para cada um deles devemos adicionar um nome;

- d) **document.Animator.setRGB(objeto,n, n, n):** Especifica a cor do objeto através do sistema RGB (*Red, Green, Blue*);
- e) **document.Animator.setTrajectory(objeto,"x","y"):** Determina a trajetória do objeto nos eixos *x* e *y*;
- f) **document.Animator.forward():** Faz com que o *physlet* avance automaticamente.

O conjunto de todas as linhas de comando, bem como suas explicações, encontram-se no domínio:

<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>.

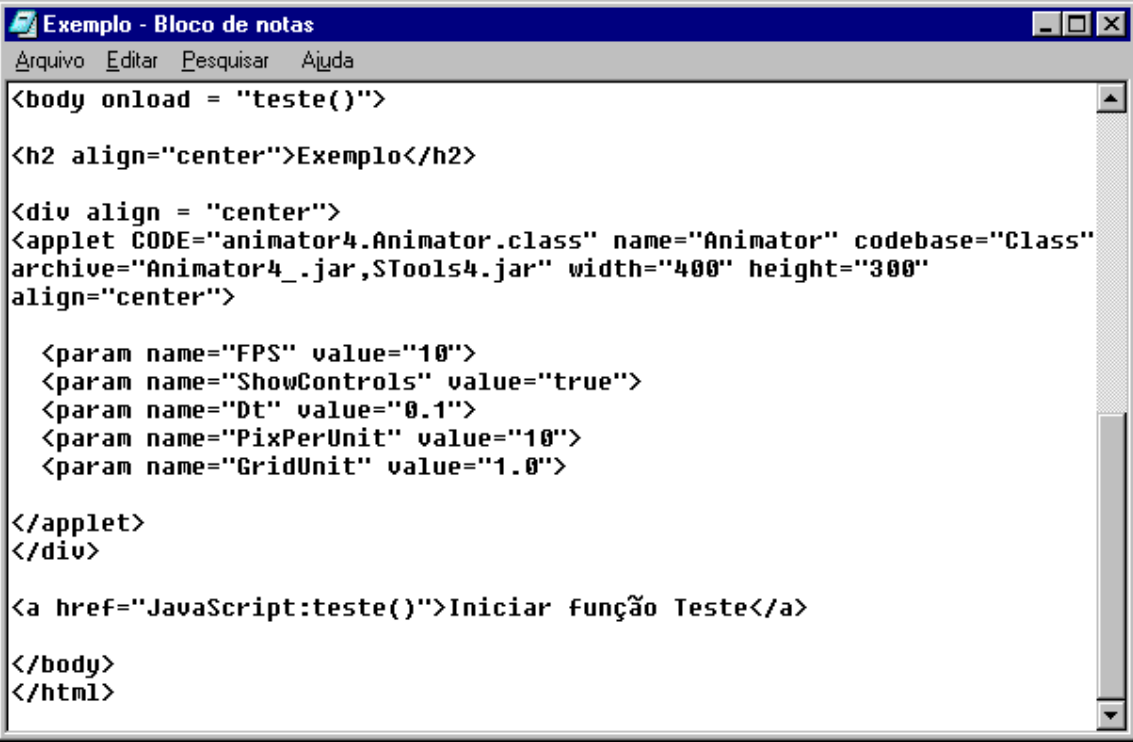
3.4.2 Inserindo um Physlets no Documento HTML

Depois de criada nossa função *JavaScript*, o passo seguinte será exibir o *physlet* no documento. Isto é feito através das tags **<applet>** e **</applet>**. Note na próxima figura que a primeira tag possui as configurações da janela do *physlet*. Entre elas temos, *height* (altura), *width* (largura), *align* (alinhamento). A opção **name = "Animator"** indica o nome da tag.

Um passo importante aparece neste instante. A opção **archive = "Animator4.jar, Stools4.jar"** indicar os arquivos onde estão as classes que serão utilizadas. Estes arquivos devem ser baixados da página dos *physlets* para o computador, pois do contrário, nossa simulação não funcionará. Para cada tipo de simulação (mecânica, eletricidade, eletromagnetismo, etc) existe um arquivo *jar* específico. A opção **code = "animator4.Animator.class"** especifica qual a classe *Java* que será utilizada.

Finalmente a opção **codebase = "classes"** indica o caminho do diretório onde estão armazenados os arquivos de extensão *jar*. De preferência a página e a pasta contendo os arquivos *jar* devem estar juntos num mesmo diretório. Para executar localmente os *physlets* é necessário baixar o programa 📄 *jre-1_5_0_04-windows-i586-p-iftw.exe* disponível em:

<https://sdlc4b.sun.com/ECom/EComActionServlet;jsessionid=0823241D6FC76EEEBDBB7350C50BFA99>



```

<body onload = "teste()">

<h2 align="center">Exemplo</h2>

<div align = "center">
<applet CODE="animator4.Animator.class" name="Animator" codebase="Class"
archive="Animator4_.jar,STools4.jar" width="400" height="300"
align="center">

  <param name="FPS" value="10">
  <param name="ShowControls" value="true">
  <param name="Dt" value="0.1">
  <param name="PixPerUnit" value="10">
  <param name="GridUnit" value="1.0">

</applet>
</div>

<a href="JavaScript:teste()">Iniciar função Teste</a>

</body>
</html>

```

Figura 05: Parâmetros de configuração dos *physlets*.

Da mesma forma que a função *JavaScript* existe uma outra maneira de informar parâmetros de configurações ao *physlet*. Aqui apresentamos alguns deles, com suas respectivas funções:

- a) **Param name = "FPS"** (*Frames Per Second* – Quadros por segundos): Indica quantas imagens o *physlet* cria por segundo. Quando maior o número de quadros, mais perfeita se torna a simulação;
- b) **Param name = "ShowControls"** (exibir controles): Mostra os controles necessário para iniciar, parar, pausar, avançar ou retroceder a simulação;
- c) **Param name = "Dt"** (*Differential Time* – Tempo diferencial): Especifica o intervalo de tempo entre cada cálculo do *physlet*;
- d) **Param name = "PixPerUnit"**: (*Pixels* por unidade): Determina quantos *pixels* possui cada unidade. Quanto maior o número de *pixels* maior será o tamanho da unidade na tela;

- e) **Param name = "GridUnit"**: (Unidade da grade): Permite editar quantas unidades, cada lado da grade irá possuir. Caso não desejarmos colocar a grade, basta inserir o número zero.

As etapas apresentadas aqui serviram apenas para introduzir alguns conceitos básicos de uso dos *physlets*.

Agora outro comentário muito pertinente aos *physlets*. O fato destes já serem elaborados e compilados pelo seu criador, *Christian Wolfgang*, implica em certas restrições intrínsecas a eles. Como maior exemplo, cito a elaboração da página apresentada neste trabalho. Até o momento não existem classes específicas da gravitação universal. As simulações que serão apresentadas foram criadas a partir das classes contidas nos arquivos *jar* de mecânica (*Animator*) e eletricidade (*EField*), os quais possuem também certas restrições.

4 APOSTILA VIRTUAL DA LEI DE GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Uma vez apresentado um breve resumo das ferramentas utilizadas para elaborar uma página da *Internet*, (linguagens *JavaScript*, *HTML* e os *physlets*), o passo seguinte será mostrar como estas podem ser usadas na elaboração de uma apostila virtual. A escolha do assunto da apostila virtual, a gravitação universal, foi devida a dois motivos:

- a) Primeiro trata-se de uma afinidade pessoal com este conteúdo. Sempre tive grande curiosidade por assuntos ligados a física e o cosmos;
- b) Segundo, há o fato da gravitação universal ser pouco explorada no ensino médio. Acredito que seja inerente do ser humano ter curiosidade de conhecer o universo em que vive. Podemos verificar esta afirmação, toda vez que alguém comenta ou inicia o assunto. As pessoas têm interesse e possuem dúvidas muitas vezes que, do ponto de vista de um estudante da física, são simples. A resposta, que ao mesmo tempo em que leva esta simplicidade ao interessado, leva também a compreensão da sua realidade no universo.

4.1 CARACTERÍSTICAS DA APOSTILA VIRTUAL

O objetivo inicial deste trabalho de conclusão era criar simulações que possibilitassem uma melhor compreensão da gravitação universal. Porém este seria um objetivo muito pobre com seu uso limitado à explicação do professor em sala de aula.

Numa melhor avaliação da proposta, criou-se a possibilidade do aluno não apenas interagir com as simulações e os princípios matemáticos que regem a lei da gravitação universal, mas também de conhecer quais personagens responsáveis por estas descobertas e em que condições estas foram verificadas e validadas. Cito como exemplo uma situação pessoal:

Durante todo o ensino médio e superior, ao cursar disciplinas como a mecânica, tive poucas vezes alguma informação sobre as condições em que tais leis foram verificadas e validadas. Qual foi o mérito de quem as descobriu?

Desta forma, a idéia inicial de elaborar simulações sobre a gravitação universal foi ampliada, resultando uma apostila virtual.

Sua divisão não obedece à ordem histórica dos fatos. Isto ocorre porque ela foi elaborada obedecendo à ordem apresentada nos livros de física. Acredito que se torna mais construtivo apresentar inicialmente a característica da força gravitacional, partindo em seguida para o estudo das leis de Kepler e posteriormente o estudo das órbitas. A apostila está dividida em seis capítulos:

- a) Lei da Gravitação Universal;
- b) Princípio da Superposição;
- c) As leis de Kepler;
- d) Energia de um Objeto num Campo Gravitacional;
- e) Trajetórias de Objetos num Campo Gravitacional;
- f) Força de Maré.

Cada um destes seis capítulos contém os seguintes elementos/características:

- a) *Motivação histórica*: é a tentativa de levar o aluno a conhecer quem ou quais personagens possibilitaram tal descoberta. Em que condições estes se encontravam? Como eram suas aparências? Onde e como eles publicaram seus resultados? O uso dos *hyperlinks* auxilia na apresentação das ilustrações dos personagens e de suas obras.
- b) *Figuras ilustrativas e Animações*: muitas vezes o conteúdo, ao ser explicado, exige do aluno uma capacidade de abstração que ele não possui. O quadro negro ou branco até possibilita elaborar uma ou outra ilustração, porém, depende das habilidades artísticas do professor. Mesmo que este possa ilustrar determinada situação no quadro, esta se restringe a permanecer estática. Aqui, o uso das animações é de grande valia. Elas possibilitam apresentar fenômenos próximos da realidade, suprimindo as condições necessárias (temperaturas baixas, altas velocidades, etc.).

- c) Simulações: aqui apresentamos uma poderosa ferramenta de aprendizagem. Uma vez que estamos em condições de elaborá-las, podemos trabalhar fenômenos, interferindo em suas condições iniciais, modificando suas características e explorando todas as possibilidades possíveis. Porém seu uso muitas vezes fica condicionado apenas a troca de valores e condições iniciais, perdendo a característica construtivista e tornando-se comportamentalista. As simulações podem ser classificadas como *laboratórios virtuais*. No seu uso, devem ser propostas tarefas que orientem os alunos a explorá-las, investigar as características dos fenômenos tirando suas conclusões. No caso específico da gravitação universal, elas possuem um papel fundamental. Como verificar a atração entre dois corpos, ou verificar o papel da constante de gravitação universal? Sem o uso das simulações, estas tarefas não seriam impossíveis, mas inviáveis de serem realizadas. Nas seções seguintes, será apresentado e caracterizado cada capítulo da apostila.

Nos capítulos seguintes será apresentado um resumo da apostila, bem como o papel de que cada *physlet*. Atualmente a apostila encontra-se disponível no seguinte domínio:

<http://www.geocities.com/jantorreslima/gravitacaouniversal.html>

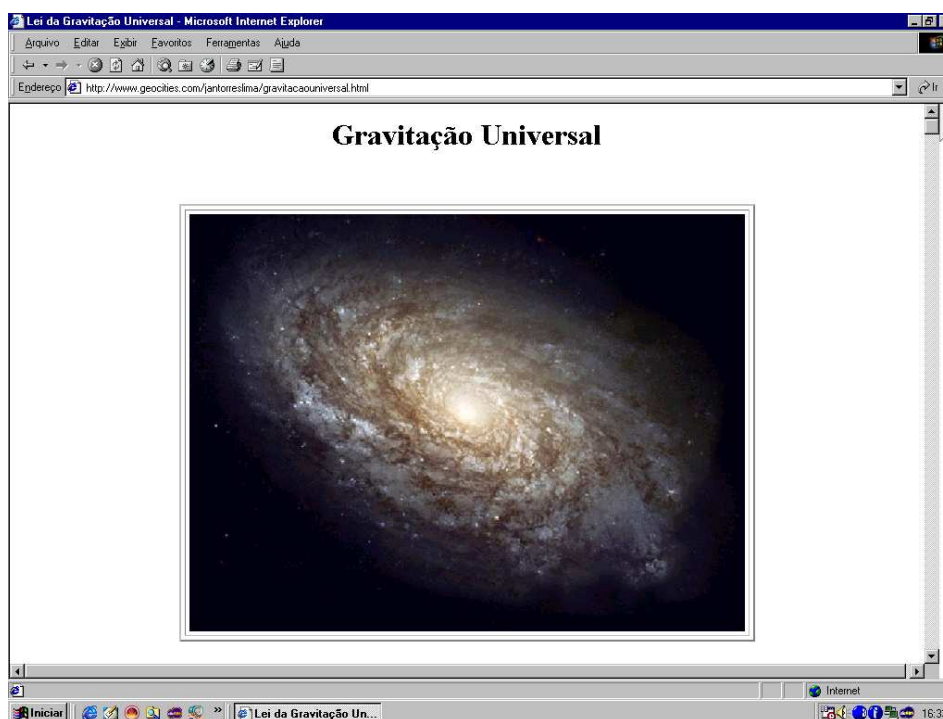


Figura 06: Apostila Virtual da Gravitação Universal

4.2 LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

4.2.1 Newton e a Gravitação Universal;

Neste subcapítulo é apresentada uma síntese da história da mecânica newtoniana, especificamente da lei da gravitação universal. O surgimento da hipótese de uma força gravitacional, proporcional ao inverso do quadrado da distância, que resultou na publicação do famoso livro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), do então físico e matemático *Sir Issac Newton* (1642-1727):

Tal livro surgiu de um desafio proposto por *Christopher Wren* (1632-1723), matemático, arquiteto e um dos fundadores da *Royal Society*, a *Robert Hooke* (1635-1703) e o astrônomo *Edmond Halley* (1656-1742).

Este consistia na explicação do sistema mundo, através de uma força (inversamente proporcional ao quadrado da distância) que influenciasse na trajetória dos planetas. Quem conseguisse ganhava a publicação de um livro no valor de 40 *xelins*. O tempo estipulado para resposta era de dois meses.

Halley sabia da existência de uma pessoa que poderia ajudá-lo a resolver tal desafio. Este era Newton, professor titular da cadeira lucasiana de matemática da Universidade de Cambridge. Porém, Halley tinha um certo receio. Mesmo que Newton possuísse a resposta do desafio, que motivos o fariam entregá-la?

Ao contrário do que Halley esperava, Newton o recebeu muito bem. Disse que já havia se questionado sobre o uso desta força na explicação do movimento dos planetas. Porém, como não recordava onde tinha deixado tal demonstração, prometeu enviar a resposta quando a encontrasse.

Três meses depois Newton envia a Halley um manuscrito com a resposta da questão. A partir daí, inclusive por influência do próprio Halley, Newton começa a trabalhar no que mais tarde se tornariam os três volumes dos *Principia*.

Neles, especificamente no terceiro volume, Newton demonstrou que a força de atração entre dois corpos era proporcional ao produto das massas destes dividido pelo quadrado da distância entre eles. Newton sabia da existência da constante G , mas jamais conseguiu medir. Atualmente sabemos que além disto existe uma constante de proporcionalidade chamada de *constante de gravitação universal*.

$$F = -\frac{GMm}{r^2}$$

Onde M e m são as massas das partículas, r é a distância entre elas e G a constante de gravitação universal com valor de:

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$$

Ao final deste subcapítulo é apresentada a primeira simulação utilizando os *physlets*, com o objetivo de auxiliar a compreensão do comportamento da força gravitacional.

Esta simulação consiste em duas massas, uma vermelha e outra azul, livres da ação de um campo gravitacional externo. Na medida em que estas se aproximam, o módulo do vetor força aumenta e quando se afastam, o módulo do vetor força diminui. Em ambos casos o vetor força depende do inverso do quadrado da distância.

Da mesma forma que é possível alterar o módulo do vetor força pela distância, é possível alterá-lo modificando o valor de ambas as massas ou valor da constante de gravitação universal nas caixas de texto.

Para verificar o módulo da força e a distância entre as massas, basta clicar no botão *calcular*. Através dos questionamentos propostos, o aluno modificará a posição e o valor das massas, alterando suas posições com o *mouse*, seus valores nas caixas de texto e clicando no botão *alterar*.

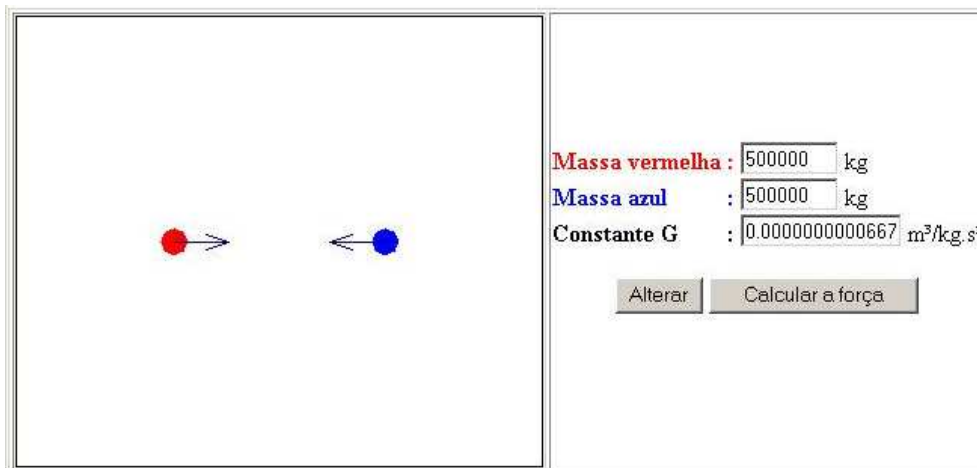


Figura 07: Simulação utilizada para a compreensão da força gravitacional

O objetivo será alcançado quando o aluno compreender qual a dependência dos valores da massa, posição e constante de gravitação universal no módulo da força gravitacional. Esta constatação torna-se inviável de ser realizada numa situação real, devido aos valores das massas envolvidas bem como a modificação do valor da constante de gravitação universal.

4.2.2 Cavendish e a Determinação da Constante de Gravitação Universal

O segundo subcapítulo consiste num comentário sobre o experimento realizado para medir a constante de gravitação universal. Tal façanha foi realizada em 1778 pelo físico e químico inglês *Henry Cavendish* (1731-1810), utilizando uma balança de torção construída por ele próprio para determinar o valor da constante G .

Resumidamente, este experimento utiliza duas esferas de chumbo pequenas com massa m e duas esferas de chumbo grande com massa M . As esferas de chumbo pequenas são presas a uma barra fina que está suspensa pelo seu ponto médio por uma fibra fina. Nesta fibra encontra-se um espelho que reflete um raio de luz numa parede com um ângulo duas vezes maior que o ângulo incidente.

Uma animação do experimento de Cavendish serve para ilustrar melhor o experimento

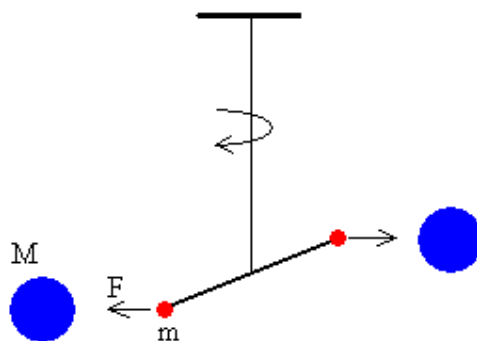


Figura 08: Animação do experimento de Cavendish

O experimento consiste em deixar as esferas de massa m suspensas em total repouso e em seguida modificar a posição das esferas de massa M . Anotando os valores das amplitudes (as quais decrescem em função do tempo) do raio de luz refletidos pelo espelho na parede, será determinado então o valor de G . Abaixo a ilustração do gráfico da amplitude do raio refletido em função do tempo.

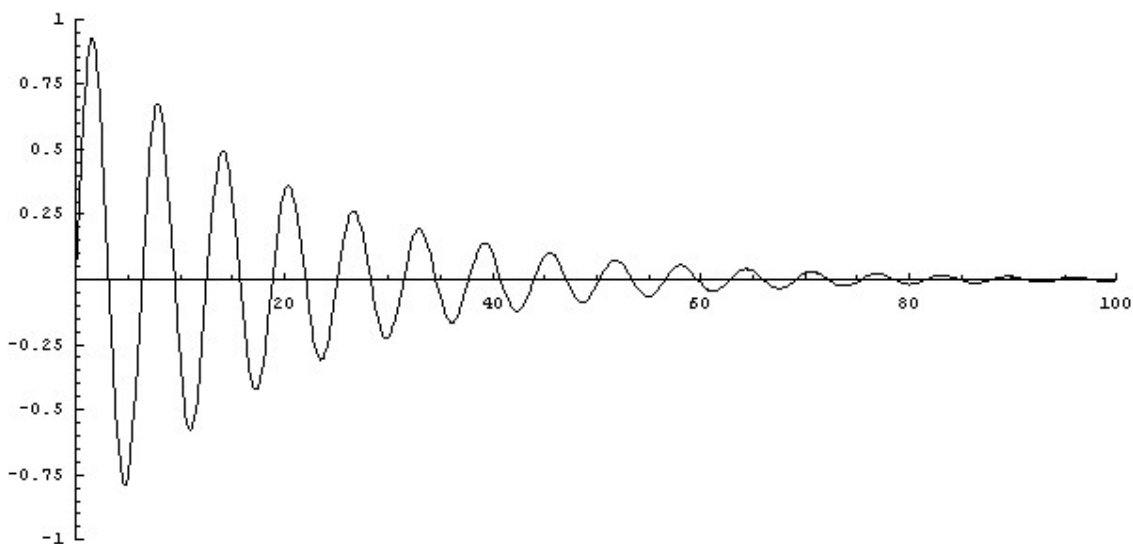


Figura 09: Experimento de determinação da constante de gravitação universal

O *physlet* deste subcapítulo trata uma maneira alternativa para determinar o valor da constante gravitacional. Devido à complexidade do experimento de Cavendish, este permite simular a atração entre dois corpos massivos (um estático e outro em movimento) livres de atrito e campos gravitacionais externos.

São utilizadas duas classes de *physlets*: *Animator* e *DataGraph*. A primeira permite realizar a simulação do fenômeno da atração entre corpos massivos, enquanto que a segunda obtém os valores da força gravitacional e da posição a cada intervalo de tempo.

A tarefa consiste na coleta dos módulos do vetor distância e do vetor força entre as massas, para determinar a constante de gravitação universal. No entanto, ele deverá manipular os valores das massas azul e preta, coordenadas x e y da massa azul e intervalo entre medidas para encontrar os melhores dados da tabela.

Através do roteiro, o aluno realizará as tarefas propostas, entre elas:

- A plotagem do gráfico **Força X Posição**;
- Linearização deste gráfico;
- Cálculo da tangente entre o gráfico e o eixo das abscissas;
- Determinação do valor da constante de gravitação universal.

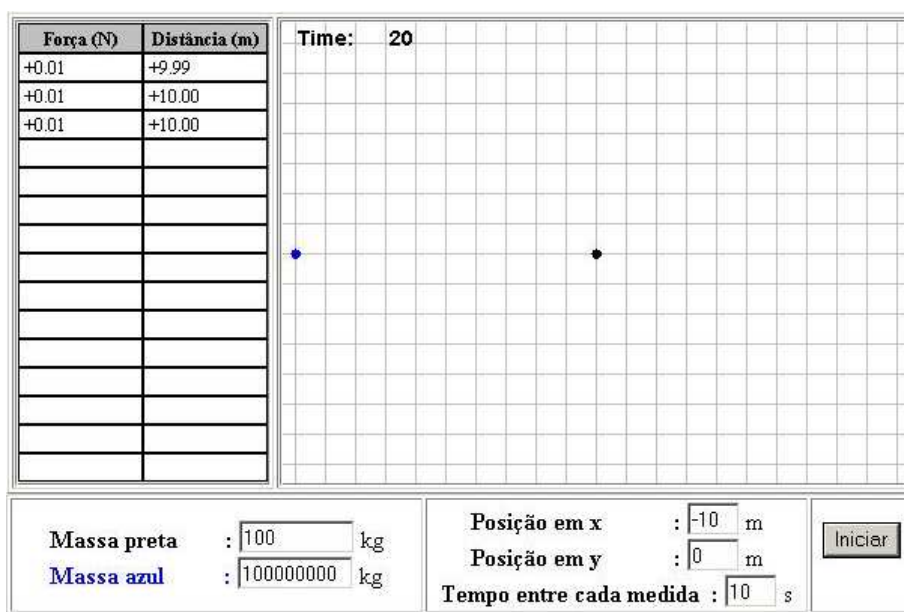


Figura 10: *Physlet* utilizado para determinar o valor da constante g

O objetivo desta simulação é iniciar o aluno na manipulação de dados. Este processo começa com a coleta dos dados. O aluno deverá encontrar valores de massas, intervalos de tempo e posição inicial da partícula para obter os melhores dados a serem plotados. Após a coleta, a etapa seguinte será a representação gráfica, para que finalmente o aluno encontre as propriedades inerentes à força gravitacional, como a constante de gravitação universal, neste caso.

4.3 PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO

Uma vez apresentada a força gravitacional e suas características, partimos para situações mais generalizadas. O princípio da superposição trata a consequência da interação entre corpos massivos ou infinitésimos de partículas. São apresentados de maneira simples e objetiva os tipos de distribuição de massa (discreta e contínua).

Para uma quantidade de n partículas distribuídas de maneira discreta (dispostas de maneira aleatória e distantes umas das outras - como num gás), podemos representar a força gravitacional sobre uma partícula F_i como **a soma das forças atuantes sobre a partícula i** .

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14} + \dots + \vec{F}_{1n}$$

Podendo ser escrita numa forma compacta:

$$\vec{F}_1 = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{1i}$$

4.3.1 Casca Esférica

Este subcapítulo apresenta o modo como a forma do objeto influencia no campo gravitacional ao redor do objeto. Introduce também o conceito de distribuição contínua, exigência na determinação dos campos gravitacionais de objetos sólidos.

Nas distribuições de partículas infinitesimais, organizadas de maneira contínua (estão organizadas lado a lado, a uma distância muito pequena - situação encontrada facilmente em sólidos), a soma da força gravitacional resulta em diferentes equações, as quais dependem da forma e da concentração dos infinitésimos nos sólidos.

Baseado nestes princípios são apresentadas ilustrações de objetos com diferentes formas (cilindro, esfera e plano) e respectivos campos gravitacionais.

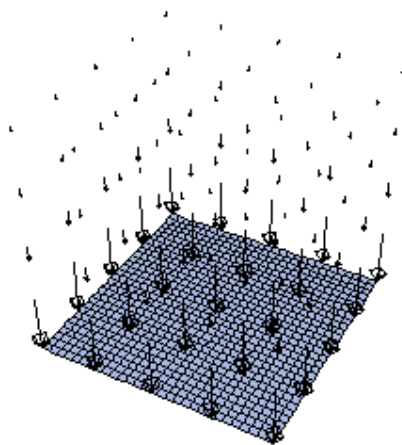


Figura 11: Campo vetorial de um plano de massa

O passo seguinte foi apresentar o exemplo clássico da casca esférica. O somatório das forças exercidas pelos infinitésimos de massas (distribuídas na forma de uma casca esférica) é dirigido para o centro desta casca. Como a demonstração de tal afirmação requer conhecimento do cálculo diferencial e integral, o objetivo deste ítem ficou restrito apenas a apresentá-lo de maneira qualitativa.

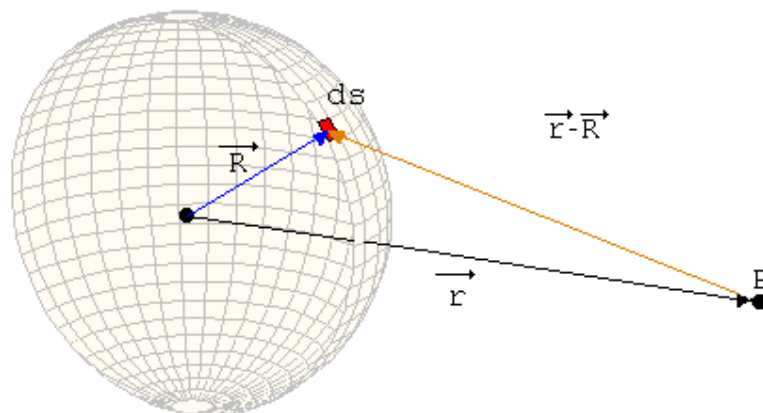


Figura 12: Força ocasionada por um infinitésimo de massa.

De posse destas informações, surge a hipótese de Newton, onde a Terra seria formada pela sobreposição de diversas camadas esféricas, ocasionando o campo gravitacional que conhecemos.

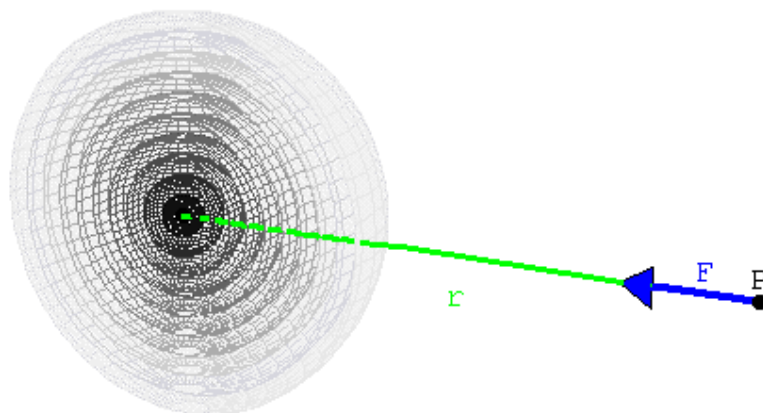


Figura 13: Sobreposição de diversas cascas esféricas

Finalizamos este subcapítulo com um *physlet* simulando o princípio da superposição. Ele consiste basicamente numa esfera azul rodeada por esferas vermelhas (distribuídas de maneira discreta na forma de uma circunferência), as quais podem ser movimentadas livremente pelo cursor do *mouse*. Sobre a esfera azul, temos a força resultante ocasionada pelo conjunto de esferas vermelhas. Assim como nos exemplos anteriores, uns roteiros com procedimentos e questionamentos foram feitos de maneira que os alunos possam orientar-se. Da mesma forma que nos exemplos anteriores, um roteiro com procedimentos e questionamentos foram para orientar os alunos.

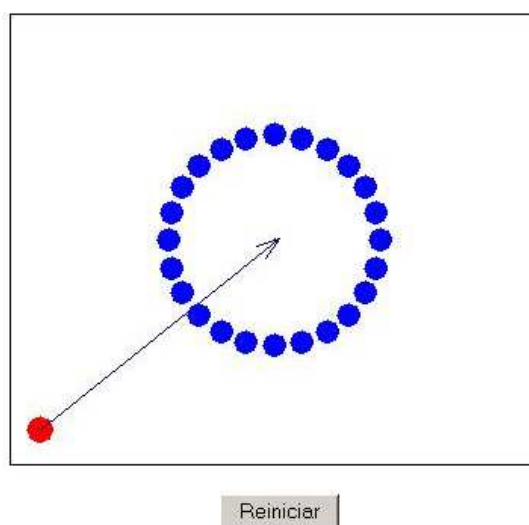


Figura 14: *Physlet* simulando o princípio da superposição

O objetivo deste *physlet* é auxiliar a compreensão do princípio da superposição. Nele o aluno pode manipular tanto as massas vermelhas como a azul, verificando como se comporta a força resultante sobre ela para diferentes distribuições de massas.

4.3.2 Túnel no Centro da Terra

Uma vez apresentada a hipótese de que a Terra é uma superposição de cascas esféricas, o que aconteceria se cavássemos um túnel bem no centro da Terra e jogássemos um objeto nele?

O fato de considerar a Terra como um conjunto de *casca esférica de massa*, implica numa diminuição da força gravitacional conforme o objeto avança em direção do centro da Terra, pois ele penetra no interior de uma quantidade maior de cascas. Assim, precisamos encontrar uma expressão para a força gravitacional que dependa da massa entre o núcleo e a posição onde está o objeto.

Quando um objeto de massa m estiver a uma distância r do centro, a quantidade de massa que exercerá força gravitacional será M' . Supondo que a densidade da Terra ρ é constante, podemos determinar o valor da massa M' em função da massa total da Terra M .

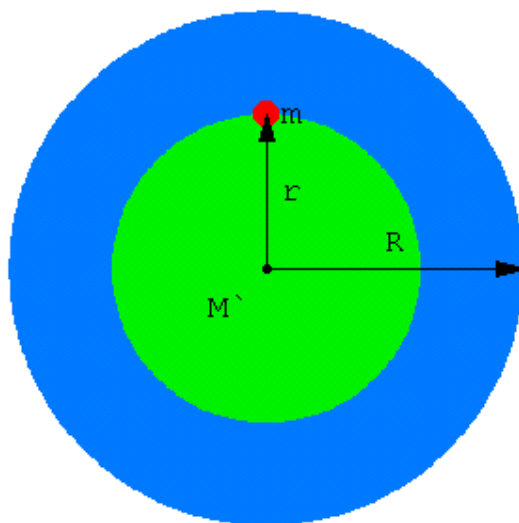


Figura 15: Animação de um objeto no interior da Terra a uma distância r do centro.

A área verde representa a massa parcial M' , enquanto que a massa total M representa as áreas azul e verde.

Uma vez elaborado o problema, o próximo passo será encontrar o módulo da força gravitacional em função da distância r .

O *physlet* deste subcapítulo consiste em verificar o comportamento do objeto dentro do túnel. O aluno deverá fazer a análise da equação da força, concluindo que esta é restauradora. Fazendo uma analogia com a equação da força elástica, ele deverá determinar o período para o objeto realizar uma oscilação completa. Utilizando os controles localizados no *physlet* ele poderá medir este valor.

Outra característica é a possibilidade do aluno modificar as variáveis através das caixas de texto, para verificar quais variáveis influenciam no período. O objetivo deste *physlet* é o aluno compreender quais grandezas físicas influenciam no período do objeto.

Convém salientar que é impossível a verificação deste fenômeno, uma vez que este não pode ser reproduzido no mundo real.

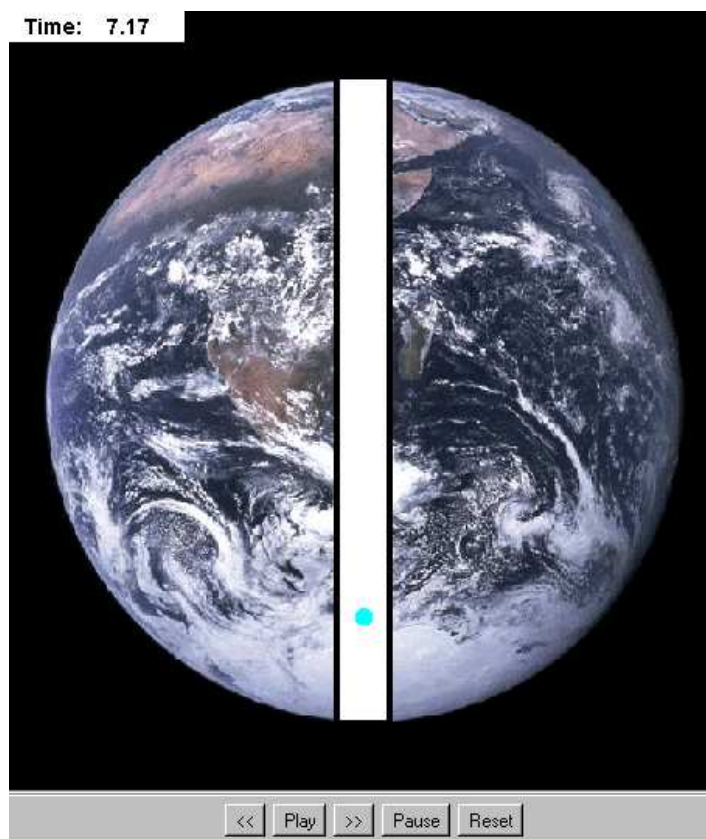


Figura 16: *Physlet* simulando túnel no centro da Terra

4.4 AS LEIS DE KEPLER

Este capítulo inicia com um resumo da vida do famoso astrônomo e matemático *Johannes Kepler* (1571-1648). Kepler foi de grande importância para o desenvolvimento da Gravitação Universal. Filho de pais pobres e membro de uma família muito conturbada passou muitas dificuldades durante os primeiros anos de vida. Mas apesar de todas as dificuldades, Kepler era muito dedicado aos estudos.

Conseguiu concluir o ensino "secundário" em 1588, obtendo no ano seguinte uma bolsa de estudos na Universidade de Tübingen (Wurtemberg-Alemanha). O curso era de teologia, composto pelas disciplinas de ética, dialética, grego, hebraico, astronomia e física.

Em 1594, Kepler deixa os estudos incompletos em *Tübingen*, para lecionar Matemática na Universidade de Graz (Estíria-Áustria). Lá, desenvolveu um fracassado modelo de sistema solar, baseado nos sólidos de Platão, onde os planetas ocupavam superfícies esféricas que eram inscritas e circunscritas nos tais sólidos. Lecionou matemática até 1598, ano em que a Universidade de Graz encerrou suas atividades. Kepler ficou desempregado e numa situação financeira muito delicada. Porém, a convite de outro famoso astrônomo da época, *Tycho Brahe* (1546-1601), foi a Praga para trabalhar como seu assistente.

Ambos esperavam muito este encontro. Kepler sabia que Tycho era excelente observador, possuindo muitos dados sobre as posições dos planetas. Por outro lado, Tycho lera *O Mistério* de Kepler e acreditava que ele seria capaz de utilizar seus dados para confirmar seu modelo de sistema solar.

Mas ao contrário do que Kepler imaginava, Tycho não forneceria seus dados para outros astrônomos trabalharem suas hipóteses. Inicialmente designa a Kepler o "desafio de Marte". Com o fornecimento de poucos dados, Kepler deveria solucionar, de acordo com o modelo de Tycho, o problema da órbita de Marte. Kepler achava que o problema seria resolvido em algumas semanas, porém este lhe custou seis anos.

Esta "parceria" entre os dois não durou muito tempo. No ano de 1601 morre Tycho e Kepler finalmente tem acesso a todos os seus dados. O temor de Tycho era que estes fossem utilizados para demonstrar a veracidade do modelo copernicano, pelo qual Kepler tinha certa simpatia. Porém, conforme prometera a Tycho, Kepler publicou um livro empregando os dados em seu modelo. E juntamente deste, acrescentou os resultados para os modelos de *Ptolomeu e Copérnico*.



Figura 17: O astrônomo *Tycho Brahe*

É assim que Kepler escreve *Astronomia Nova* durante os anos de 1600-1606, publicado em 1609. O estudo dos dados de Marte evidenciou a verdadeira característica das órbitas. Nasceram assim as 1ª e 2ª leis de Kepler. As leis de Kepler são apresentadas nos três subcapítulos que seguem abaixo:

4.4.1 A Primeira Lei de Kepler - Lei das Órbitas

O primeiro subcapítulo, que trata sobre a primeira lei de Kepler, aborda como Kepler começou a estudar a órbita da Terra e a importância desta para o estudo da órbita de Marte.

Kepler sabia que a cada medida da posição de Marte, era necessário medir a posição da Terra em relação ao Sol. Assim encontraria a órbita da Terra por cálculos de triangulação. As medidas que Tycho havia lhe fornecido não eram suficientes para elucidar o problema. Foi necessária a constatação de sua segunda lei, para que Kepler conseguisse encontrar a forma da órbita da Terra.

Uma estranha forma oval (curva que tem a forma longitudinal de um ovo) a qual ele encontrou, além do dogma do movimento circular uniforme dos planetas, fez com que Kepler criasse grande quantidade de hipóteses, as quais iam sendo descartadas uma a uma. Finalmente, ele encontrou uma equação que descrevia com exatidão a órbita de Marte, possibilitando a descoberta de sua primeira lei:

Qualquer planeta que gira em torno do Sol, descreve uma órbita elíptica com o Sol ocupando um dos focos.

Ao término deste subcapítulo, é apresentado um *physlet* sobre a primeira lei. Seu objetivo compreender a órbita elíptica. Na medida em que o aluno modifica o valor da velocidade tangencial, modifica a forma da órbita, podendo verificar a elipse que a órbita forma.

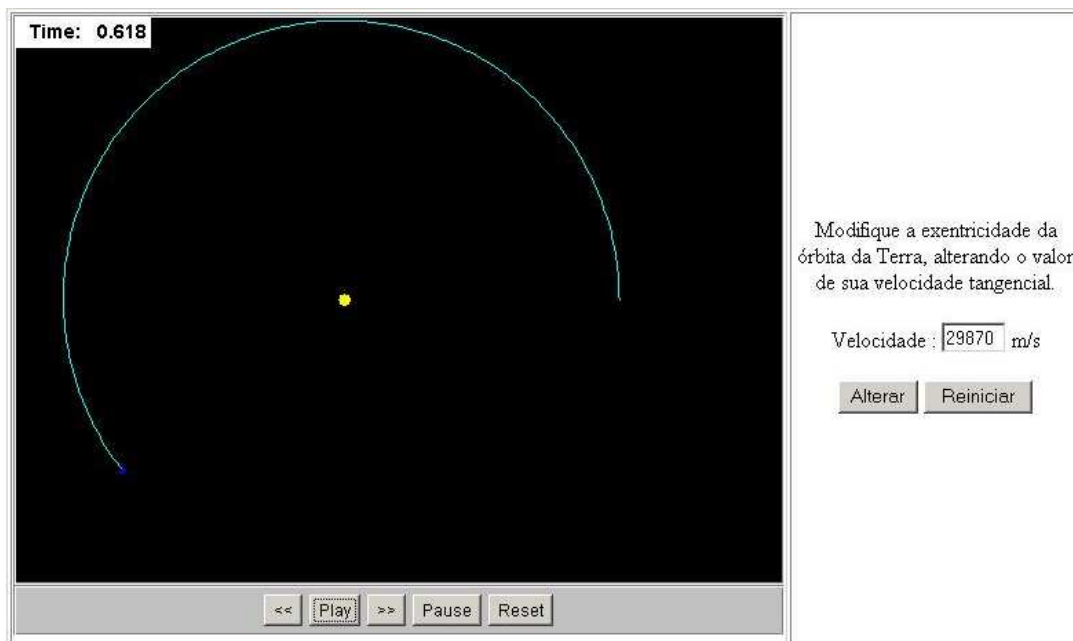


Figura 18: *Physlet* simulando diferentes órbitas para a Terra

4.4.2 A Segunda Lei de Kepler - Lei das áreas

No segundo subcapítulo, simplesmente é apresentada a lei das áreas, a qual foi condição necessária para a primeira lei. Esta surgiu de um questionamento feito por Kepler.

“Se a rapidez do nosso planeta não é constante, como podemos prever sua posição num instante determinado?”.

Assim, esta lei (também é conhecida como *lei das áreas*) foi enunciada por Kepler como:

A reta que une o planeta ao Sol, varre áreas iguais em tempos iguais.

A simulação desta lei foi elaborada com o intuito do aluno verificar que a área compreendida para um mesmo intervalo de tempo é sempre a mesma. Esta análise é feita através da comparação entre uma órbita elíptica e órbita circular. O aluno pode escolher uma das duas a partir da caixa de seleção.

Utilizando os botões de controle, ele pode avançar a simulação manualmente, anotando os valores dos períodos cada vez que surge um ponto na sua órbita.

O comparativo da área deverá ser feito de maneira qualitativa, pois devido às restrições impostas pelos *physlets*, não é possível plotar a área entre dois pontos.

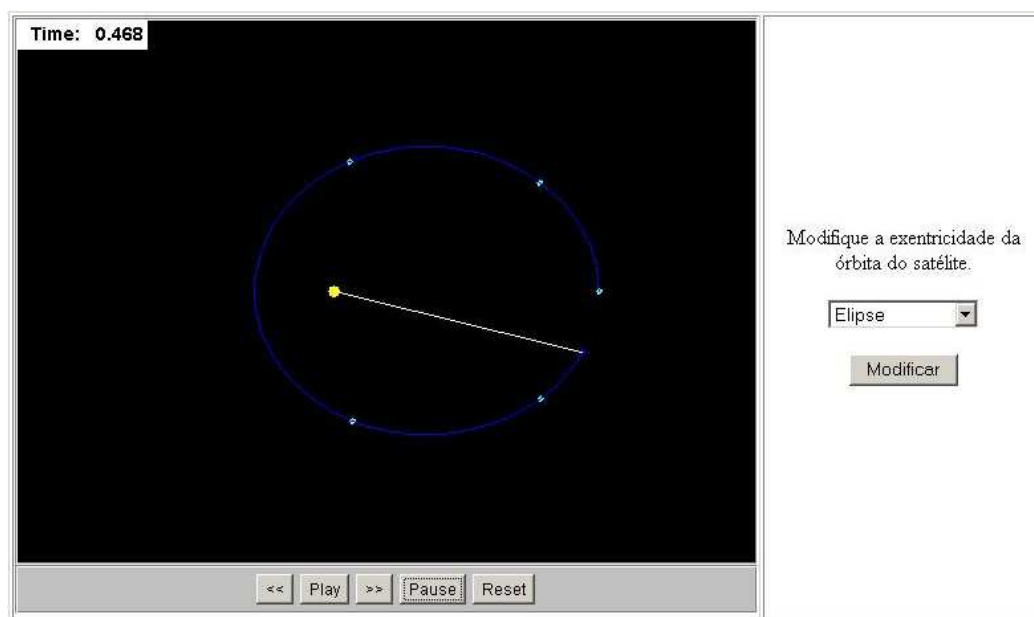


Figura 19: Simulação da segunda lei de Kepler

Devido à natureza da primeira e segunda leis de Kepler, as simulações destas leis utilizando *physlets* consistem apenas em utilizar exemplos em que o aluno possa modificar características das órbitas. Como se tratam de leis qualitativas, não é possível obter dados, apenas observar o comportamento alterando propriedades.

Porém, no caso da terceira lei, foi possível criar uma simulação que permitisse o aluno interagir com o *physlet*.

4.4.3 A Terceira Lei de Kepler - Lei dos Períodos

No contexto histórico, o que difere a terceira lei das demais é o fato que esta lei surgiu numa obra em que Kepler abordou diversos assuntos além da astronomia. O objetivo maior desta obra era apresentar as diferentes formas harmoniosas existentes no mundo.

Kepler procurava encontrar uma relação harmônica entre excentricidade da órbita de um planeta e sua distância média ao sol. Após diversas tentativas, ele percebe que deveria utilizar velocidades angulares no lugar da distância. Estas eram calculadas a partir das velocidades máxima (periélio) e mínima (afélio) do planeta.

Na sua obra *Harmonia do Mundo*, dividida em cinco volumes, a terceira lei surgiu em meio a outros tipos de enunciados. Kepler a descreveu como:

O quadrado dos períodos de revolução dos planetas é proporcional ao cubo do semi-eixo maior de suas órbitas.

O *physlet* apresentado neste item permite uma atividade bastante interativa para o aluno. Este consiste em criar diferentes órbitas para a Terra, modificando sua velocidade tangencial.

Utilizando a grade existente no *physlet*, é possível encontrar o tamanho do semi-eixo maior da órbita. Este é determinado medindo a distância entre os pontos onde a órbita corta o eixo de coordenadas horizontais, o periélio e afélio da órbita. O passo seguinte é dividir o valor encontrado por dois. De posse desta informação, o próximo será determinar o período que o planeta necessita para efetuar uma volta completa.

A coleta destes dados para diferentes órbitas permite verificar a validade da equação abaixo:

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$$

Onde T é o valor do período do planeta, e a é o semi-eixo maior da órbita.

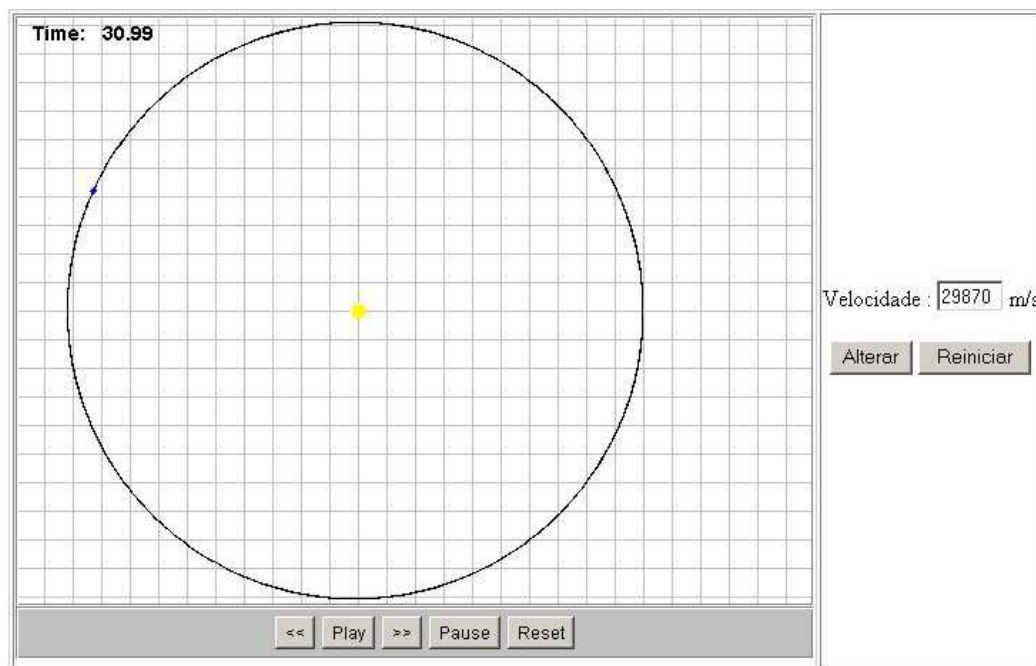


Figura 20: Simulação da terceira lei de Kepler

Os valores encontrados podem ser comparados com os da tabela que segue abaixo:

Tabela 1

Valores da razão entre o quadrado dos semi-eixos maiores e o período de rotação para os planetas do sistema solar.

Planeta	Período de Revolução (T) em anos	Semi-eixo maior da órbita (a) em u.a	T^2/a^3 (ano) ² /(u.a) ³
Mercúrio	0,241	0,387	1,002
Vênus	0,615	0,723	1,000
Terra	1,000	1,000	1,000
Marte	1,881	1,524	0,999
Júpiter	11,86	5,204	0,970
Saturno	29,6	9,58	0,996
Urano	83,7	19,14	1,000
Netuno	165,4	30,2	0,993
Plutão	248	39,4	1,004

Fonte: (ALVARENGA, MÁXIMO 1979).

4.5 ENERGIA DE UM OBJETO NUM CAMPO GRAVITACIONAL

Este capítulo, de um aspecto geral, trata as questões energéticas existentes entre dois objetos. Os itens que o compõe procuram apresentar conceitos mais generalizados de energia potencial, além de retomar conceitos da energia cinética e energia mecânica total vistos pelos alunos no conteúdo de mecânica.

4.5.1 Energia Potencial Gravitacional

Inicialmente, este subcapítulo trata de revisar os conceitos da energia potencial gravitacional, para casos situados próximos da superfície da Terra. A figura abaixo é uma animação desta situação, contendo todas grandezas físicas existentes.

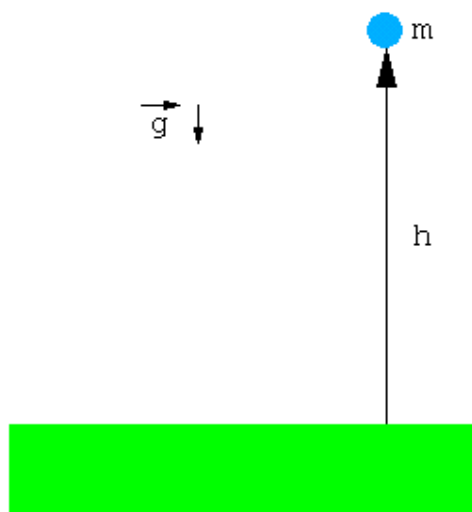


Figura 21: Animação do problema da energia potencial gravitacional sob a superfície da Terra

O passo seguinte consiste em apresentar quais condições são responsáveis pela observação deste fenômeno, do ponto de vista da gravitação.

- a) A aceleração da gravidade é considerada constante sobre a superfície da Terra: Utilizando a equação da força gravitacional, verificamos que a aceleração na realidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os centros de gravidade da Terra e do objeto;

$$\sum F = ma \quad \therefore - \frac{GMm}{r^2} = ma$$

$$a(r) = - \frac{GM}{r^2}$$

Onde G é a constante de gravitação universal, m a massa de um objeto qualquer sobre a superfície da Terra, M a massa da terra e r a distância entre o centro de massa da Terra e do objeto.

- b) O valor da energia potencial de um objeto, sob a superfície da Terra, é somente a energia gasta para elevá-lo: Numa situação mais generalizada, o valor calculado da energia potencial é referente ao conjunto de dois objetos, onde ambos se movimentam quando soltos. Por que então, quando soltamos um objeto sob superfície da Terra somente este se movimenta? Isto acontece pelo fato da Terra possuir maior inércia. Temos a impressão do objeto possuir toda energia potencial, quando na realidade é apenas ele quem consegue alterar a energia cinética do conjunto;

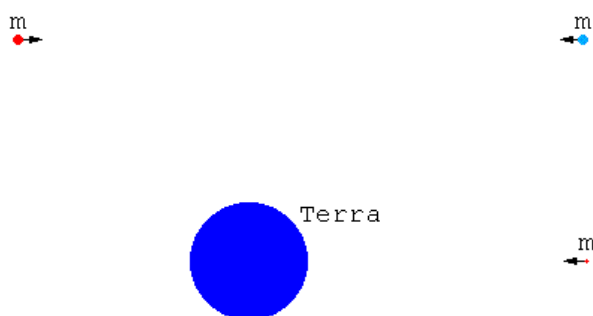


Figura 22: Comparação da atração gravitacional entre objetos de diferentes massas

- c) Estabelecemos a superfície da Terra como o referencial de energia zero: Num caso generalizado, o referencial zero é adotado quando as massas estão a uma distância infinita.

Assim, através da compreensão destas três condições, é apresentada uma situação mais generalizada da energia potencial gravitacional.

$$U(r) = -\frac{GMm}{r}$$

Onde r representa a distância entre as partículas, M e m são suas massas e G é o valor da constante de gravitação universal.

Juntamente desta situação generalizada, é apresentada a energia potencial gravitacional de um sistema de n partículas, no caso em que existem três partículas:

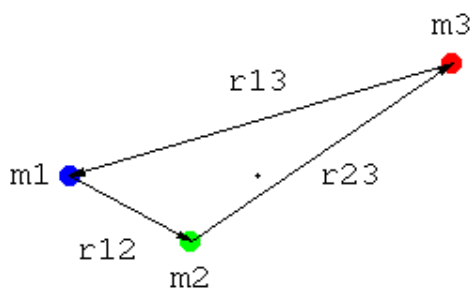


Figura 23: Três partículas orbitando em torno de um ponto comum.

Representamos a energia potencial gravitacional para a animação acima, através da equação abaixo:

$$U = -\left(\frac{Gm_1m_2}{r_{12}} + \frac{Gm_1m_3}{r_{13}} + \frac{Gm_2m_3}{r_{23}}\right)$$

Os índices 1, 2 e 3 servem para diferenciar as diferentes massas m e distâncias r .

4.5.2 Energia Cinética

Neste item apenas é lembrado o conceito de energia cinética, uma vez que o assunto é abordado de maneira mais aprofundada na *Teoria de conservação da energia*, visto juntamente com o conteúdo de mecânica.

Escrevemos a equação que descreve a energia cinética K como:

$$K = \frac{mv^2}{2}$$

Onde v é a velocidade do objeto de massa m .

4.5.3 Energia Mecânica Total

Assim como na Energia Cinética, este item trata apenas em lembrar os conceitos apresentados no conteúdo de mecânica.

Representamos a energia mecânica total E de acordo para com equação abaixo:

$$E = U + K$$

Onde a U é a energia potencial gravitacional e K a energia cinética

4.6 TRAJETÓRIAS DE OBJETOS NUM CAMPO GRAVITACIONAL

Neste capítulo, surge a parte que eu pessoalmente considero mais interessante da gravitação universal, que é a definição das trajetórias dos corpos celestes. Este é dividido em três partes, as quais procuram abordar os diferentes tipos de órbitas e suas causas.

4.6.1 Órbita de Satélites, Planetas e Objetos

Basicamente este subcapítulo trata apenas de apresentar a equação que descreve a trajetória de objetos num campo gravitacional, bem como as grandezas existentes nela. A determinação desta, exige um conhecimento avançado em mecânica clássica. Abaixo a equação polar da trajetória de objetos num campo gravitacional:

$$r(\theta) = \frac{\alpha}{1 + \varepsilon \cos(\theta)}$$

Onde:

$$\alpha = \frac{L^2}{\mu k}$$

Onde r e θ são as coordenadas polares do objeto, ε a excentricidade da órbita, L o momento angular e μ a massa reduzida.

A figura a seguir apresenta as diferentes órbitas formadas pela equação acima

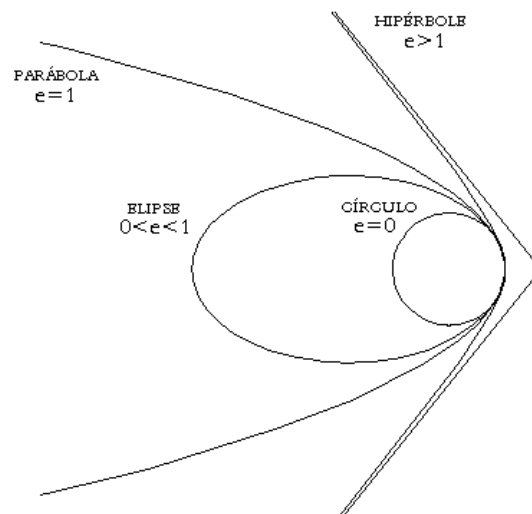


Figura 24: Órbitas formadas a partir dos diferentes valores de ε

4.6.2 Potencial Efetivo

O conceito de potencial efetivo é dificilmente abordado no ensino médio. Porém acredito que sua compreensão é de vital importância para a compreender quais condições necessárias para um objeto permanecer em órbita. As definições apresentadas neste subcapítulo foram simplificadas de maneira que permita a um estudante de física do ensino médio compreende-la.

Potencial efetivo é definido como um potencial fictício, que tem por objetivo informar as quantidades de energia necessárias para a criar diferentes formas de órbitas.

Ele é definido pela equação abaixo:

$$V(r) = U(r) + U_c(r)$$

Onde a equação da energia potencial gravitacional $U(r)$ e a energia potencial centrífuga $U_c(r)$ é definida por:

$$U_c = \frac{L}{2mr^2}$$

Podendo ser reescrito como:

$$V(r) = -\frac{GMm}{r} + \frac{L}{2mr^2}$$

Analisando a equação *Energia potencial Centrífuga*, verificamos que ela depende do *Momento angular*. Este, por consequência é o produto entre m e o produto vetorial entre \mathbf{R} e \mathbf{v} .

Quando efetuada esta operação, observamos que o momento angular utiliza a componente perpendicular da velocidade em relação ao vetor \mathbf{R} .

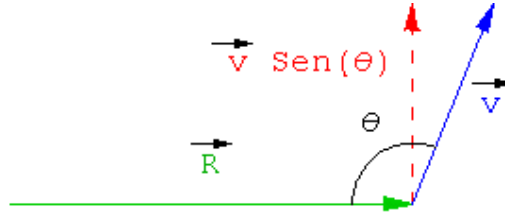


Figura 25: Ilustração vetorial do momento angular e o potencial efetivo

$$\vec{L} = m\vec{R} \times \vec{v}$$

$$L = mRv\text{Sen}(\theta)$$

Onde:

$$\vec{v}\text{Sen}(\theta) \perp \vec{R}$$

Isto nos permite tirar uma conclusão. A **Energia potencial Centrífuga é a energia cinética da velocidade tangencial**. Com esta informação podemos encontrar as velocidades necessárias para formar as diferentes órbitas.

A etapa seguinte à demonstração desta equação consiste em apresentar, baseado nas leis da mecânica newtoniana, quais os valores de velocidades necessárias para formar órbitas circulares, elípticas, parabólicas e hiperbólicas.

4.6.2.1 Órbitas Circulares

Para formar uma órbita circular, deve ser estabelecida a seguinte condição. Encontrar a **velocidade tangencial mínima** ($v\text{Sen}(\theta)$) a uma distância \mathbf{R} . Através da 2ª Lei de Newton:

$$\Sigma F = \frac{mv_{\text{tangencial}}^2}{R}$$

$$-\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv_{\text{tangencial}}^2}{R}$$

$$v_{\text{tangencial}} = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

Encontramos a condição necessária para formar uma órbita circular.

4.6.2.2 Órbitas Elípticas

Para valores de **velocidades resultantes** maiores que a **velocidade tangencial mínima**, temos órbitas elípticas.

4.6.2.3 Órbitas Parabólicas

Agora, qual a velocidade máxima que um objeto pode ter para permanecer em órbita? Esta é a **velocidade de escape**. Podemos determiná-la através do princípio de conservação de energia.

A energia total do objeto quando lançado é:

$$E = -\frac{GMm}{r} + \frac{mv_e^2}{2}$$

E a energia numa distância infinita é:

$$E = 0$$

Isto porque lá a velocidade e o potencial gravitacional são iguais a zero. Logo a *velocidade de escape* é:

$$-\frac{GMm}{r} + \frac{mv_e^2}{2} = 0$$

$$\frac{mv_e^2}{2} = \frac{GMm}{r}$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Nesta situação temos uma órbita parabólica.

4.6.2.4 Órbitas Hiperbólicas

Quando a *velocidade resultante* é maior que a *velocidade de escape*, temos órbitas hiperbólicas.

4.6.3-Órbitas e Energias

Após a definição das velocidades necessárias para a formação das diferentes órbitas, são apresentadas as condições energéticas para a formação de órbitas. A análise do gráfico do *potencial efetivo x distância* possibilita uma melhor visualização destas condições:

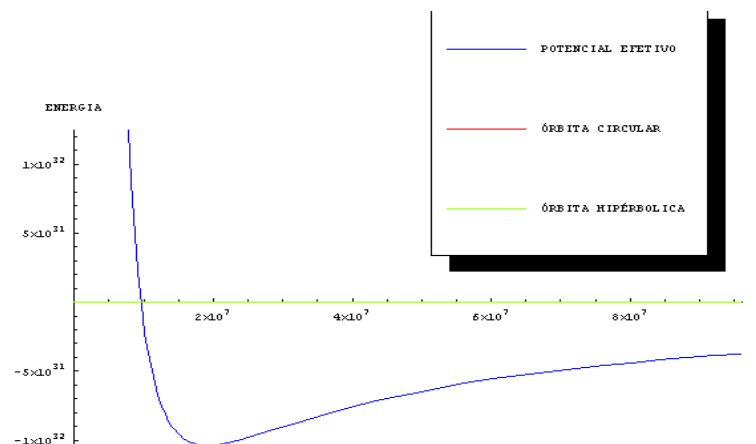


Figura 26: Gráfico da Função do Potencial Efetivo.

Nas regiões onde a energia total é maior ou igual a zero, o objeto encontra o potencial gravitacional somente uma vez. Em algum momento, este potencial atrai o objeto e faz com que ele atinja sua distância mínima do planeta (apsides). Verificamos que nesta condição, cada valor de energia E possui somente uma distância r . Quando a energia é positiva temos órbitas hiperbólicas, e quando a energia é igual a zero, temos uma órbita parabólica;

Nas regiões onde a energia total é negativa e maior que o potencial efetivo mínimo, o objeto possui uma órbita fechada. Para cada valor de energia E , a órbita possui uma distância máxima $r_{\text{máx}}$ (apocentro) e uma distância mínima $r_{\text{mín}}$ (pericentro). Temos então órbitas elípticas;

Quando a energia total é igual ao potencial efetivo mínimo ($V_{\text{min}} = -\mu k^2/2L^2$), o objeto possui uma única distância r do planeta. Temos então uma órbita circular;

Caso a energia seja negativa e menor que o potencial efetivo mínimo, não existirá nenhum tipo de órbita.

Finalmente todas as condições são resumidas na tabela abaixo:

Tabela 2

Comparação entre energia, velocidade e excentricidade de um órbita

Energia Total > 0	$\epsilon > 1$	Hipérbole	$v > \sqrt{\frac{2GM}{r}}$
Energia Total $= 0$	$\epsilon = 1$	Parábola	$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$
$V_{\text{min}} < \text{Energia Total} < 0$	$0 < \epsilon < 1$	Elipse	$v_t > \sqrt{\frac{GM}{r}}$
Energia Total $= V_{\text{min}}$	$\epsilon = 0$	Circular	$v_t = \sqrt{\frac{GM}{r}}$
Energia Total $< V_{\text{min}}$	$\epsilon < 1$	Não possui órbita	$v_t < \sqrt{\frac{GM}{r}}$

Fonte: (THORTON, MARION 1995).

O *physlet* utilizado neste capítulo serve para verificar todas as condições existentes na tabela acima.

Introduzindo nas caixas de texto do *physlet* os valores das coordenadas x e y , o valor da massa do satélite, além das componentes v_x e v_y da velocidade do satélite, podemos criar diferentes órbitas com diferentes excentricidades. Abaixo os procedimentos para formar as diferentes excentricidades.

O aluno deve inserir as coordenadas x e y e clicar no botão "Calcular" para verificar quais as velocidades necessárias para formar as diferentes órbitas. Após isto, ele modifica as velocidades v_x e v_y e clicar no botão "Play" para iniciar a simulação, formando a órbita desejada.

Caso o aluno deseje encontrar o valor da excentricidade, clica no botão "Excentricidade". Para resetar a simulação, basta clicar em "Reiniciar" para voltar aos valores iniciais.

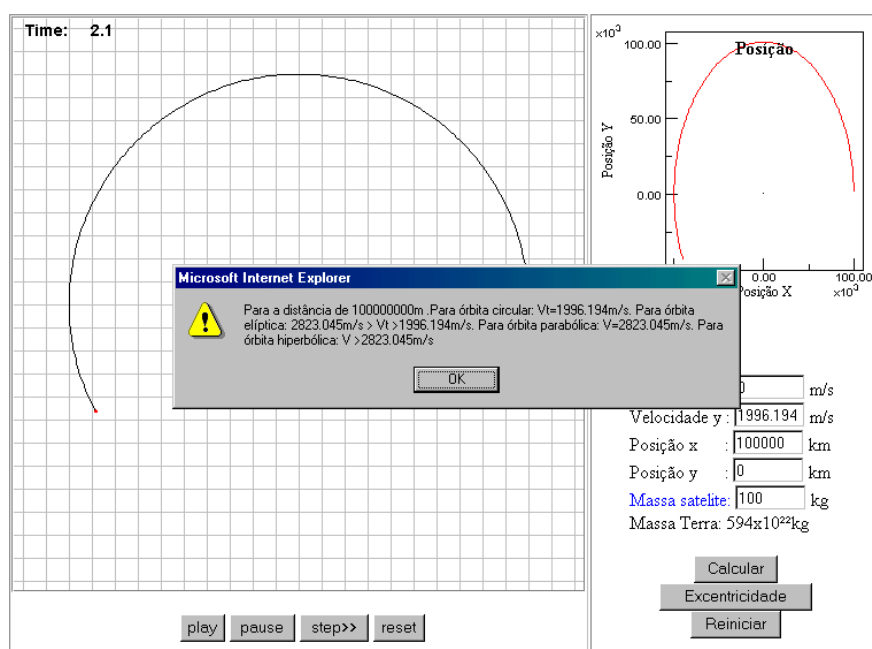


Figura 27: *Physlet* simulando diferentes órbitas

4.7 FORÇA DE MARÉ

Encerramos a apostila virtual de gravitação universal, abordando um tema que durante muito tempo foi motivo de curiosidade do homem, o movimento das marés.

4.7.1 A Origem do Problema das Marés

Este subcapítulo consiste apenas em abordar de maneira sucinta a hipótese formulada de *Galileu Galilei*. Foi no seu livro *Diálogos sobre os dois sistemas máximos do mundo ptolomaico e copernicano* onde ele apresentou como causa deste fenômeno, o movimento da Terra em torno do Sol.

Segundo Galileu, caso a Terra estivesse parada no centro do Universo (hipótese geocêntrica), o mar estaria em repouso, enquanto que, quando a Terra esta em movimento em torno do Sol (hipótese heliocêntrica) e acelerado ou desacelerado, o mar se movimenta aumentando e diminuindo o nível.

4.7.2 Compreendendo o Fenômeno das Marés

Utilizando ilustrações e animações, o problema das marés é tratado de maneira qualitativa. O conjunto de ilustrações apresenta passo a passo o motivo pelo qual observamos duas vezes ao dia a mudança da altura na beira do mar: A diferença do módulo da força gravitacional da lua sobre o mar, em pontos opostos da Terra.

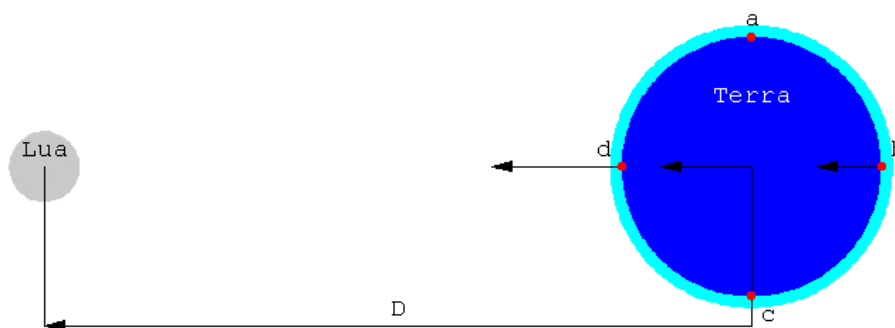


Figura 27: Força gravitacional da lua em pontos opostos sobre a Terra (d e b)

Este efeito causa então uma deformação do mar sobre a superfície da Terra:

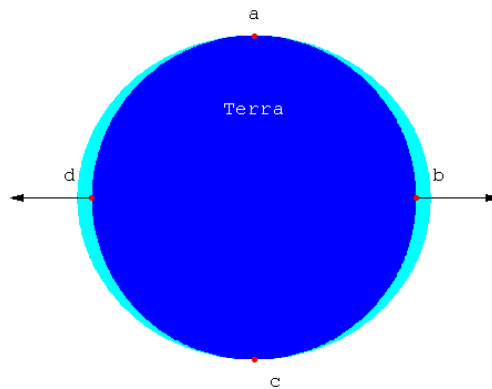


Figura 28: Deformação do mar sobre a superfície da Terra

Finalmente, ao efetuar uma revolução em torno do seu eixo, um mesmo ponto passa duas vezes num dia.

Convém comentar que neste capítulo não foi possível elaborar um *physlet* visto as restrições impostas por eles.

5 APLICAÇÃO DA APOSTILA VIRTUAL

Atualmente a apostila virtual é se apenas uma página da *Internet*, permitindo que os diversos internautas a possam a acessar. Infelizmente não pude aplica-la numa turma de alunos, para realmente verificar sua efetividade. Mas a nível de curiosidade, o provedor onde a pagina está hospedada realiza uma contagem de acessos bem como faz estatísticas sobre algumas características dos usuários que a acessam. Eis alguns dados:

Tabela 3

Resumo das informações gerais da página

Total de visitas (até 16/06/06)	219
Mês com maior quantidade de visitas	101 em Maio 2006
Navegador mais utilizado pelos visitantes	92.74% usam MSIE 6.0
Resolução de tela mais utilizada pelos visitantes	62.18% tem 1024x768
Como os visitantes acessam esta página	97.48% acessam por http://www.geocities.com/jantorreslima/gravitacaouniversal.html

Fonte: *www.geocitites.com*

Tabela 4

Quantidades de acessos por mês

Mês	Total de Páginas vistas * (Única página vista**)
Junho 2006	41 (41)
Maio 2006	101 (101)
Abril 2006	46 (46)
Março 2006	26 (26)
Fevereiro 2006	5 (5)

Fonte: www.geocitites.com

Tabela 5

Sistema operacional mais utilizado

Sistema operacional utilizado por seus visitantes (em %)	
Windows NT 5.1	83.78%
Windows 98	12.84%
Linux	2.22%
Windows NT 5.0	1.16%

Fonte: www.geocitites.com

Um dos problemas encontrados e que contribuiu significativamente à quantidade de acessos, foi o fato da página estar temporariamente fora em alguns *sities* de busca. Nota-se que nos meses de abril e maio, teve uma grande quantidade de acessos.

Este rápido levantamento contribuiu para mostrar que o uso do material interativo apresentado neste trabalho de alguma maneira despertou o interesse dos internautas em geral. Acredito que o uso deste mesmo material em sala de aula contribua para uma melhor aprendizagem e estímulo por parte dos alunos.

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi abordar um novo paradigma educacional aplicado na física do ensino médio. Utilizando conceitos do EAD aliado à produção de materiais instrucionais com recursos computacionais procurou-se apresentar uma forma de *estudo complementar orientado*, onde o professor assista seus alunos através dos meios de comunicação proporcionados pela *Internet*.

O uso de ilustrações, animações e simulações neste novo contexto, visaram uma maior interação entre o aluno e o conteúdo (uma vez que este pode agir autonomamente sobre elas), juntamente com incentivo à procura de assuntos relacionados à física e especificamente, a gravitação universal.

Fica a expectativa de futuramente aplicar este material numa turma de alunos. Porém o levantamento de alguns dados sobre a página serviu para mostrar que o uso de referidos recursos tem uma certa procura por parte dos usuários da *www*.

Esperamos que esta proposta apresentada procure contribuir não somente para que o ensino de física, mas para que o ensino como um todo ganhe mais qualidade de aprendizado.

OBRAS CONSULTADAS

ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Curso de Física – Volume 1**. São Paulo: Harbra, 1979. p 205-234. cap. VII Gravitação Universal. 275 p.

AMORA, Antônio Soares. **Minidicionário Soares Amora da Língua Portuguesa**. São Paulo: Saraiva, 1997.

BOCZKO, Roberto. **Conceitos de Astronomia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. 429 p.

CADENHEAD, Rogers; LEMAY, Laura. **Aprenda em 21 Dias Java 2**. Traduzido por João E. Toledo. Rio de Janeiro: Campus, 2001. Tradução de: Teach Yourself Java 2 in 21 Days. 539 p.

FURASTÉ, Pedro. **Normas Técnicas para o Trabalho Científico**. 11.ed. Porto Alegre: [s.n.], 2002. 144 p.

LIMA, Jan T. **Gravitação Universal**. São Leopoldo, 2006. Disponível em: <<http://www.geocities.com/jantorreslima/gravitacaouniversal.html>> Acesso em 2006.

LUCENA, Carlos; FUKS, Hugo. **A Educação na Era da Internet: Professores e Aprendizagens na Web**. Rio de Janeiro: Clube do Futuro, 2000. 158 p.

MOREIRA, Marco; OSTERMANN, Fernanda. **Teorias Construtivistas**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1999. 64 p.

OLIVEIRA, Kepler; SARAIVA, Maria. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/index.htm>> Acesso em 01 jan. 2006.

OTTO, Peters. **Didática do Ensino a Distância: Experiências e Estágio da Discussão numa Visão Internacional**. Traduzido por Ilson Kayser. São Leopoldo: Unisinos, 2001. Tradução de: Die Didaktik des Fernstudiums: Erfahrungem und Diskussionsstand in Nationaler und Internationaler Sicht. 402 p.

OTTO, Peters. **Ensino a Distância em Transição: Tendências e Desafios**. Traduzido por Leila F. S. Mendes. São Leopoldo: Unisinos, 2003. Tradução de: Distance Education in Transition: Trends and Challenges. 400 p.

SCIENTIFIC AMERICAN - GÊNIOS DA CIÊNCIA. Newton: Pai da Física Moderna. São Paulo: Duetto, n.1, 2005. 100 p.

SCIENTIFIC AMERICAN - GÊNIOS DA CIÊNCIA. Galileu: Universo em Movimento. São Paulo: Duetto, n.5, 2005. 99 p.

SCIENTIFIC AMERICAN - GÊNIOS DA CIÊNCIA. Kepler: Harmonia dos Astros. São Paulo: Duetto, n.8, 2005. 98 p.

THORTON, Stephen; MARION, Jerry. **Classical Dynamics of Particles and Systems.** 4.ed. Orlando: Harcourt, 1995. 638 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jean. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** Traduzido por José A. e Souza. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. p 51-79. cap. XV Gravitação. Tradução de: Fundamentals of Physics, 4th Edition. 292 p.

WOLFGANG, Christian. **Physlets Home Page.** Disponível em:
<<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>> Acesso em 01 dez. 2005.