



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

CURSO DE
INTRODUÇÃO À
ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA

APOSTILA DE ATIVIDADES

Divisão de Astrofísica

2018

APRESENTAÇÃO

Esta apostila apresenta algumas sugestões de atividades relacionadas a temas tratados no Curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica do INPE e que podem ser levadas para a sala de aula pelos professores de Ensino Médio e Fundamental.

As atividades propostas na parte “Astronomia no dia a dia” são de autoria de André de Castro Milone. Foram baseadas na seguinte bibliografia: *Programa de la Asignatura, Curso Único de Astronomia*, 1991, Uruguai; *Astronomia a régua e compasso*, Marcos D. Neves (para a atividade do relógio de Sol).

As atividades relacionadas ao Sistema Solar foram extraídas da apostila “Oficina de Astronomia” do Instituto de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro de autoria do Prof. Dr. João Batista Garcia Canalle a quem agradecemos a permissão para a reprodução dos textos.

SUMÁRIO

1 ASTRONOMIA NO DIA A DIA	4
1.1 MEIO-DIA SOLAR E ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA	4
1.2 LATITUDE GEOGRÁFICA DE UM LUGAR DO HEMISFÉRIO SUL	6
1.3 RELÓGIO DE SOL EQUATORIAL PORTÁTIL (PARA O HEMISFÉRIO SUL)	8
1.4 PÔR DO SOL E ESTAÇÕES DO ANO	10
1.5 FASES DA LUA E MÊS LUNAR.....	11
1.6 DISTÂNCIAS E DIMENSÕES RELATIVAS DO SOL, TERRA E LUA	12
1.7 MOVIMENTOS APARENTES DOS 5 PLANETAS VISÍVEIS A OLHO NU	13
2 SISTEMA SOLAR.....	15
2.1 O SISTEMA SOLAR NUMA REPRESENTAÇÃO TEATRAL.....	15
2.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS TAMANHOS DOS PLANETAS E DO SOL	22
2.3 O SISTEMA SOLAR EM ESCALA	26
2.4 PRIMEIRA LEI DE KEPLER - LEI DAS ÓRBITAS	29
2.5 TERCEIRA LEI DE KEPLER – LEI DOS PERÍODOS	34
2.6 ACHATAMENTO DOS PLANETAS	36

1 ASTRONOMIA NO DIA A DIA

1.1 MEIO-DIA SOLAR E ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA

Finalidade:

Determinar simultaneamente o instante do meio-dia solar e a direção norte-sul do lugar (meridiano local) utilizando-se de um gnômon (astronômico). Dê preferência em fazer essa atividade nos dias dos equinócios de outono e de primavera, ou datas próximas. No caso do hemisfério sul, ocorrem em torno de 22 de março e 21 de setembro respectivamente (nessas ocasiões, a declinação do Sol é nula).

Um gnômon astronômico é uma haste perpendicular a uma superfície plana horizontal.

Material necessário:

Uma superfície plana, lisa e retangular (ex. madeira, fórmica ou isopor grosso), uma pequena haste sólida perfeitamente reta (ex. um lápis) de comprimento menor que a largura da superfície, uma folha de papel retangular, um relógio, uma régua milimetrada, um esquadro ou um transferidor, um lápis ou caneta, um barbante ou um compasso, percevejos ou uma fita adesiva e uma bússola.

Passos:

- A. Escolher um local de trabalho onde a luz solar incide por volta do meio-dia.
- B. Fazer um furo perpendicular à superfície, próximo do lado maior (e mais ou menos no meio de seu comprimento), de modo que a haste escolhida se encaixe com firmeza.
- C. Fixar a folha de papel na superfície.
- D. Encaixar a haste de modo perpendicular à superfície (verificar com o esquadro ou transferidor o ângulo de 90°) e dispor essa superfície na horizontal.
- E. Medir com cuidado o tamanho efetivo de seu gnômon (comprimento entre sua extremidade e a superfície) com a régua.
- F. Anotar a data na folha de papel.
- G. Iniciar o experimento às 11h.
- H. Marcar, no papel, a extremidade da sombra do gnômon a cada 10 ou 5 min.
- I. Verificar e anotar a hora da ocorrência da sombra mínima.
- J. Medir com cuidado o comprimento da sombra mínima.
- K. Terminar as medições às 13h.

Resultado(s):

A sombra mínima do gnômon ocorre quando é meio-dia solar e o Sol está cruzando o meridiano celeste do lugar. O Sol atinge, nesse instante, sua altura máxima no céu. Comparar o instante do meio-dia solar com a hora civil do local (note que elas são distintas). Altura é o ângulo entre a direção do astro e o plano do horizonte. A sombra mínima estará alinhada na direção N-S. Use a bússola para comparar (lembre-se de que a agulha de uma bússola se alinha na direção dos pólos magnéticos e não geográficos). A direção leste-oeste será perpendicular à N-S, de modo que o sentido oeste será para onde o Sol estará “caminhando” após o meio-dia solar, sua culminação (sentido contrário da sombra). Para um local situado no hemisfério sul da Terra, conhecidas a direção N-S e a localização do ponto cardeal

oeste, o ponto sul ficará à esquerda da pessoa se ela estiver olhando para o ponto oeste. Para o hemisfério norte da Terra, o ponto cardeal norte será também aquele à esquerda da pessoa.

Passos alternativos para determinar apenas a orientação dos pontos cardeais:

- ✓ Repetir os passos de A a F.
- ✓ Iniciar o experimento às 10h.
- ✓ Marcar a posição da extremidade da sombra num dado instante qualquer bem antes do meio-dia (anote a hora por curiosidade).
- ✓ Traçar sobre o papel, com muita atenção, uma circunferência centrada no gnômon (furo da superfície) com o compasso ou com o barbante amarrado no gnômon (+ um lápis).
- ✓ Quando a extremidade da sombra atingir novamente a circunferência traçada, marque o ponto onde isso ocorre (anote a hora por curiosidade).
- ✓ Traçar segmentos de reta que liguem o centro da circunferência com os pontos marcados sobre cada uma delas.
- ✓ Obter e traçar a bissetriz do ângulo formado pelo par desses segmentos de retas.

Resultado(s):

A linha norte-sul do lugar estará na direção da bissetriz (ou bissetriz média se mais de uma circunferência for traçada) do ângulo obtido. Apresente suas dificuldades e conclusões.

Importante:

Traçar no terreno, onde a atividade foi realizada, as direções norte-sul e leste-oeste. Se quiser, aproveite para desenhar uma rosa dos ventos.

1.2 LATITUDE GEOGRÁFICA DE UM LUGAR DO HEMISFÉRIO SUL

Finalidade:

Calcular a latitude geográfica por meio da medição da sombra mínima de um gnômon, e conseqüentemente, da altura máxima do Sol (culminação ao cruzar o meridiano celeste local) na ocasião do solstício do inverno austral, por volta de 21 de junho, ou data próxima.

Material necessário:

Além do gnômon e do material citados na atividade anterior, você vai precisar de uma calculadora científica.

Passos:

- ✓ Anotar, no papel fixado na base de seu gnômon, a data e o comprimento efetivo do gnômon.
- ✓ Obter a sombra mínima e medir sua extensão segundo os procedimentos da atividade anterior.
- ✓ Calcular a altura da culminação do Sol. A altura máxima do Sol é o ângulo formado entre a direção do mesmo na culminação e o horizonte do lugar. Neste instante, o Sol está “desenhando” um triângulo retângulo formado pela sombra mínima e pelo gnômon, que serão os catetos. A hipotenusa desse triângulo é definida pelo raio de luz solar que tangencia a extremidade do gnômon. A altura do Sol é igual ao ângulo formado pela sombra e pela hipotenusa desse triângulo. Então, é só obter a tangente desse ângulo fazendo a divisão entre o comprimento do gnômon e a extensão da sombra. Daí, tem-se, o ângulo da culminação.
- ✓ Calcular a latitude do lugar aplicando conhecimentos astronômicos básicos sobre o sistema de coordenadas equatoriais (posição do pólo elevado, equador celeste, latitude, altura de culminação e declinação) como mostrado na Figura 1.1.
- ✓ A latitude do lugar, em módulo, é dada pela fórmula adiante, para lugares no hemisfério sul entre o equador e o círculo polar na ocasião do solstício do inverno austral:

$$|\text{latitude}| = 90^\circ - (\text{altura-do-Sol}) - 23^\circ,5$$

Para um lugar ao norte do equador, a atividade deve ser feita num dia próximo ao solstício do inverno boreal (21 de dezembro).

Resultado(s):

Comparar a latitude calculada com aquela apresentada por um atlas ou mapa geográfico. Pode-se repetir a medida, quantas vezes preferir, para obter um valor médio mais confiável. O pólo celeste sul (ou norte) está na direção sul (ou norte) a uma elevação angular é exatamente igual ao módulo da latitude do lugar; veja a Figura 1.1. Apresente suas dificuldades e conclusões.

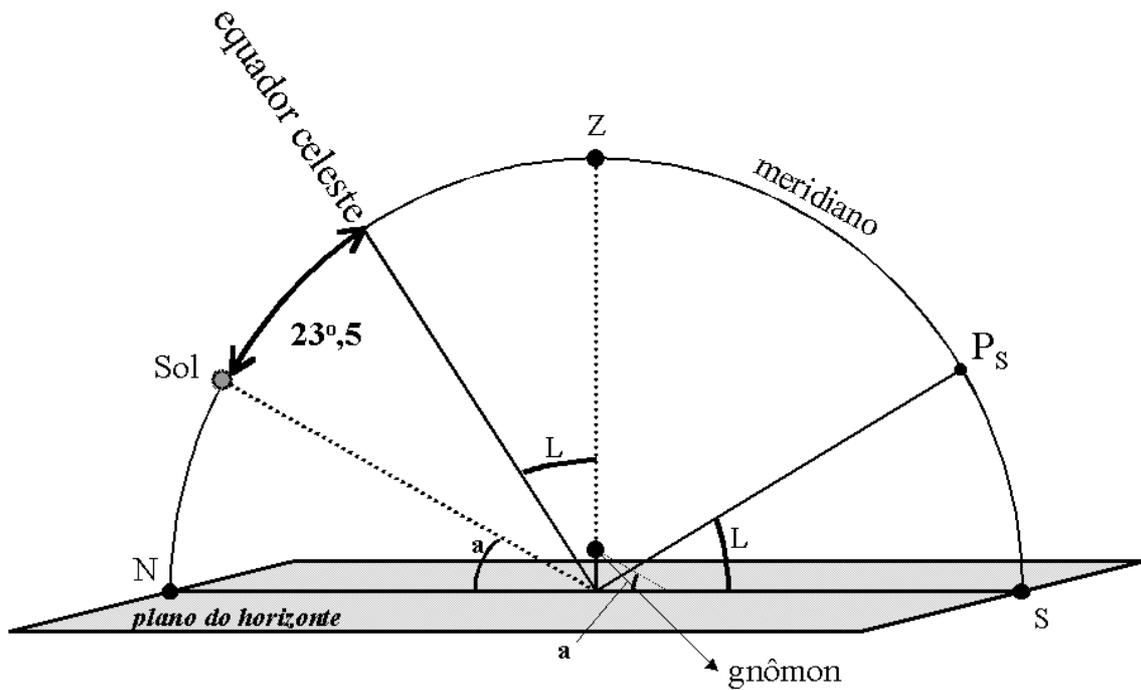


FIGURA 1.1 - CULMINAÇÃO DO SOL NO DIA DO SOLSTÍCIO DO INVERNO AUSTRAL PARA UM LOCAL DO HEMISFÉRIO SUL TERRESTRE ENTRE O EQUADOR E O CÍRCULO POLAR. PERCEBA QUE A DECLINAÇÃO DO SOL IGUALA-SE A $23^{\circ},5$ N (INCLINAÇÃO DO EIXO DE ROTAÇÃO TERRESTRE RELATIVA À PERPENDICULAR DA ECLÍPTICA). NOTE QUE O PÓLO ELEVADO DO LUGAR É O PÓLO CELESTE SUL (P_s). Z É O ZÊNITE, L É A LATITUDE GEOGRÁFICA DO LUGAR E A ALTURA DA CULMINAÇÃO DO SOL É DADA PELO ÂNGULO 'a'.

1.3 RELÓGIO DE SOL EQUATORIAL PORTÁTIL (PARA O HEMISFÉRIO SUL)

Finalidade(s):

Determinar, em primeira instância, a hora solar verdadeira. Pode-se preferir, também, o cálculo prévio da latitude do lugar com um gnômon (atividade anterior) ou usar aquela obtida de um atlas geográfico. Pode-se obter a hora solar média através de uma adição ou subtração (da equação do tempo). A hora civil só pode ser obtida caso se conheça a longitude e o fuso horário do lugar. Leia a SEÇÃO DIAS E NOITES do Capítulo 1 da apostila texto desse Curso.

Material necessário:

Um círculo rígido com furo central (ex. de papelão ou um CD inútil), uma haste fina e comprida, um lápis ou caneta de escrita fina, um transferidor, um relógio, um anuário astronômico e uma calculadora (científica de preferência).

Passos:

- ✓ Desenhe, nas duas faces do círculo furado, marcações para as horas espaçadas de 15°, de acordo com a ilustração da Figura 1.2. As horas devem coincidir nos mostradores austral (S) e boreal (N). As marcas das 12h (meio-dia solar verdadeiro), uma de cada lado do disco, deverão tocar a superfície horizontal quando o relógio solar estiver construído como na Figura 1.2.
- ✓ Introduza a haste no furo do círculo e ajuste seu comprimento (desde o chão até o disco) de modo que o ângulo formado por ela e pela superfície horizontal seja igual ao módulo da latitude do lugar. Meça o raio do disco utilizado e aplique o conceito de tangente de um ângulo num triângulo retângulo, tangente-da-latitude = cateto-oposto (raio-disco) ÷ cateto-adjacente (comprimento da haste), para calcular o comprimento da haste em função do raio do círculo e da latitude como visto na Figura 1.2.
- ✓ Escolha um lugar onde haja incidência da iluminação solar por boa parte do dia.
- ✓ Oriente seu relógio de Sol portátil de modo que a haste esteja paralela à direção norte-sul. A parte mais alta da haste ficará, assim, apontando para o pólo celeste sul. Consequentemente, a haste ficará disposta paralelamente ao eixo de rotação da Terra. O plano do mostrador será paralelo ao plano do equador celeste (e terrestre).
- ✓ Leia, através da sombra da haste, a hora solar verdadeira local (HVL) no mostrador boreal ou austral. Note que quando a sombra ocorre no mostrador boreal o Sol está ao norte do equador celeste e vice-versa. Nos dias dos equinócios, a sombra será projetada em ambos mostradores (o Sol está exatamente sobre o equador do céu).
- ✓ Para obtermos a hora solar média local (HML), basta adicionar uma correção (positiva ou negativa) denominada de Equação do Tempo (ET), a qual é tabulada diariamente num anuário astronômico. Essa correção é no máximo de 15 min para mais ou menos.

$$\mathbf{HML = HVL + ET}$$

Resultado(s):

Compare as horas solares verdadeira e média locais com a hora civil de seu relógio. Se quiser obter a hora civil ou legal (HL), terá que adicionar o fuso horário e subtrair a longitude (horária) do lugar. A longitude do lugar é positiva a leste de Greenwich e negativa para oeste. O fuso horário de Brasília, DF, é -3 h. Por

curiosidade, a hora ou tempo universal (TU) é a HML do meridiano de Greenwich cujos fuso e longitude são nulos.

$$HL = HML + FUSO - (\text{longitudo-do-lugar})$$

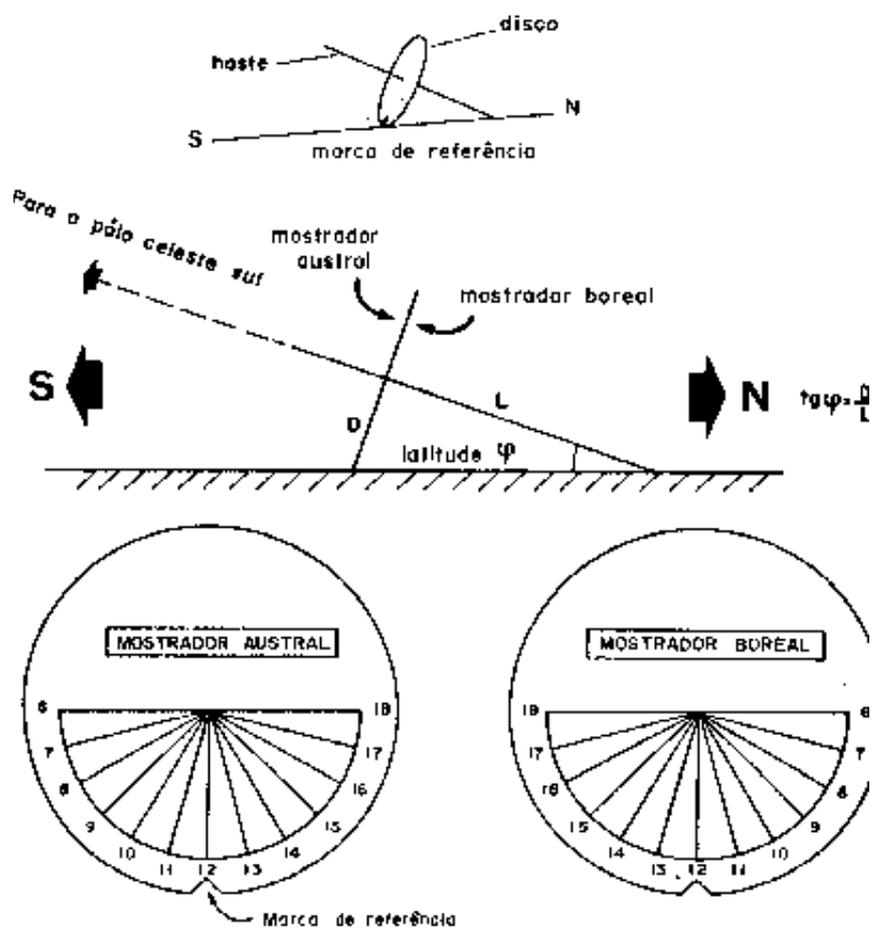


FIGURA 1.2 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO RELÓGIO SOLAR EQUATORIAL PORTÁTIL (DO LIVRO ASTRONOMIA A RÉGUA E COMPASSO DE MARCOS D. NEVES). A LETRA D REPRESENTA O RAIOS DO MOSTRADOR CIRCULAR, L O COMPRIMENTO DA HASTE, DESDE A SUPERFÍCIE PLANA ATÉ O DISCO, E φ O ÂNGULO DE LATITUDE DO LUGAR. NOTE QUE A TANGENTE DE φ DEVE SER IGUAL A DIVISÃO DE D POR L ($\text{tg } \varphi = D \div L$).

1.4 PÔR DO SOL E ESTAÇÕES DO ANO

Finalidade:

Observar o ponto no horizonte onde o Sol se põe ao longo dos meses do ano, principalmente nos inícios das estações do ano (solstícios e equinócios) ou datas próximas.

Material necessário:

Um lápis e folhas de papel.

Passos:

- ✓ Escolha um local onde haja boa visibilidade do pôr do Sol durante todo o ano.
- ✓ Desenhe numa folha de papel o horizonte oeste (em silueta).
- ✓ Anote o dia da observação e a hora (civil mesmo) do pôr do Sol, desenhando a posição aproximada do Sol nesse instante.
- ✓ Repita a experiência a cada 15 dias, de preferência com a mesma folha de papel. Lembre-se de observar o ocaso do Sol nos inícios das estações do ano; aproximadamente em 21 de março, 22 de junho, 22 de setembro e 22 de dezembro.

Resultado(s):

Compare as posições e horários dos poentes do Sol. Tire suas próprias conclusões. Perceba que o pôr do Sol não ocorrerá no mesmo horário, assim como a sua localização no horizonte variará. Nos dias dos equinócios da primavera, 22 de setembro e do outono, 21 de março, o Sol tem seu ocaso exatamente no ponto cardeal oeste. Apresente suas dificuldades e conclusões.

COMPLEMENTOS DA ATIVIDADE

Além disso, sugere-se que você complemente a atividade do pôr do Sol tentando acompanhar o movimento anual aparente do Sol, que se dá ao longo da eclíptica, por entre as constelações do Zodíaco da maneira descrita adiante.

Finalidade:

Observar e tentar reconhecer as estrelas e constelações que “surgem”, na direção do poente, logo após o pôr do Sol.

Material necessário:

Um lápis, folhas de papel e um mapa ou carta celeste com a identificação das constelações do Zodíaco (ex. Figura 1.3).

Passos:

- ✓ Desenhe numa folha de papel a configuração das estrelas observadas logo após o ocaso do Sol. Anote o dia e a hora da observação.
- ✓ Usando um mapa celeste, tente reconhecer as estrelas e constelações próximas à direção do Sol. Registre a posição aproximada do Sol no mapa.
- ✓ Repetir a experiência a cada 15 dias, com folhas separadas.

Resultado:

Compare entre si as folhas com as estrelas e constelações desenhadas. Tente traçar a trajetória anual do Sol por entre as constelações zodiacais. Apresente suas dificuldades e conclusões.

Você também pode incluir como complemento, o acompanhamento da sombra mínima diária de um gnômon astronômico, que ocorre sempre ao meio solar verdadeiro, de modo similar aos procedimentos daquela primeira atividade.

1.5 FASES DA LUA E MÊS LUNAR

Finalidade(s):

Observar visualmente a sucessão das fases da Lua ao longo de um mês começando pela fase nova. Acompanhar, também, o movimento aparente mensal da Lua por entre as estrelas e constelações do Zodíaco. Leia a SEÇÃO FASES DA LUA do Capítulo 1 da apostila texto deste Curso.

Material:

Um relógio, um lápis, folhas de papel, um mapa celeste (ex. Figura 1.3) e um binóculo.

Passos:

- ✓ Inicie as observações entre 18h e 24h um a três dias após a fase nova da Lua. É preferível escolher um horário fixo para as mesmas.
- ✓ Faça um desenho da Lua por entre as estrelas e constelações do Zodíaco reconhecidas no mapa do céu, mostrando a aparência da mesma (fase lunar).
- ✓ Anote, se possível, a hora do ocaso da Lua.
- ✓ Repita diariamente as observações, pelo menos, até um pouco além da fase cheia.
- ✓ Com o binóculo, observe o aspecto lunar para cada fase. Você perceberá coisas incríveis sobre o relevo da Lua.

Resultado(s):

Verificar o movimento aparente mensal da Lua. Construa um modelo simplificado esquemático do sistema Sol-Terra-Lua para explicar as fases da Lua e seu movimento mensal aparente no céu por entre as constelações zodiacais. Como exemplo poderia ser uma representação coreográfica num ambiente escuro com pelo menos três pessoas, uma representando a Terra, outra a Lua, e a terceira segurando uma fonte de luz para ilustrar a iluminação do Sol (ex. uma lanterna potente). Apresente suas dificuldades e conclusões.

COMPLEMENTO DA ATIVIDADE

Aproveitando a representação coreográfica para compreender as fases da Lua, sugere-se que haja uma tentativa de explicação para os eclipses da Lua e do Sol. A referência é a SEÇÃO FASES DA LUA do Capítulo 1 da apostila texto deste Curso.

1.6 DISTÂNCIAS E DIMENSÕES RELATIVAS DO SOL, TERRA E LUA

Finalidade(s):

Tentar visualizar em escalas relativas distintas os tamanhos comparados do Sol, Terra e Lua e as distâncias entre eles. Veja a TABELA 1.2 do Capítulo 1 da apostila texto deste Curso.

Material necessário:

Um globo terrestre geográfico, uma bola de isopor, um barbante, um balão de festa amarelo (tamanho gigante), uma calculadora, uma trena métrica e um lápis.

Passos:

- ✓ Medir o diâmetro equatorial do globo terrestre (que na falta de um, pode ser uma bola de futebol, voleybol ou basquete). Um diâmetro de uma esfera é igual a 2 raios da mesma. Basta medir o perímetro da circunferência do globo sobre o equador do mesmo e dividir por π para se obter o diâmetro equatorial.
- ✓ Com o valor do diâmetro do globo em mãos, calcular os diâmetros da Lua e do Sol nessa mesma escala relativa usando a regra de três. O diâmetro da Lua corresponde a 0,2725 do diâmetro do globo (se quiser $\frac{1}{4}$ aproximadamente). O diâmetro do Sol corresponde a 109,1 vezes o diâmetro do globo (se preferir ≈ 100 vezes maior).
- ✓ Novamente, conhecendo-se o diâmetro terrestre, calcular a distância Terra-Sol nessa mesma escala assim como a distância Terra-Lua. A distância média da Terra ao Sol corresponde a 11.728 vezes o diâmetro terrestre (ou ≈ 12.000) e a distância média Terra-Lua a 30,135 vezes (ou ≈ 30).
- ✓ Procure usar uma bola de isopor adequada ao tamanho calculado para a Lua.
- ✓ Veja se é possível usar o balão de festa, inflando-o até adquirir um diâmetro próximo ao calculado. Use o barbante para dimensionar o perímetro equatorial solar relativo.
- ✓ Tente colocar seus protótipos da Terra, Lua e Sol na escala relativa.

Resultado(s):

Discuta com os seus estudantes como o Sistema Sol-Terra-Lua foi representado. Apresente suas dificuldades e conclusões.

COMPLEMENTOS DA ATIVIDADE

Você pode demonstrar a fenomenologia dos dias e das noites, estações do ano, fases da Lua e eclipses a partir desse protótipo? O que está faltando? A escala relativa de distâncias é adequada?

Você precisará de uma fonte intensa de luz num ambiente escuro. Os raios luminosos da fonte devem incidir nos modelos da Terra e Lua de forma aproximadamente paralela entre si. A escala de distância, certamente, deverá ser reduzida para que a visualização e entendimento das fases da Lua e dos eclipses sejam satisfatórios assim como dos dias/noites e das estações do ano.

Lembre-se, que essa é maneira sob o ponto de vista heliocêntrico de demonstrar e explicar os fenômenos astronômicos citados. Há, ainda, as visões topocêntrica e geocêntrica. Inclusive, todas as dimensões do sistema Sol-Terra-Lua foram fornecidas sem qualquer reflexão. Seria pertinente, rever suas determinações históricas por meio dos experimentos clássicos de Eratóstenes (raio da Terra) e de Aristarco (distância Terra-Sol): FIGURAS 1.1 E 1.18 do Capítulo 1 da apostila texto do Curso.

1.7 MOVIMENTOS APARENTES DOS 5 PLANETAS VISÍVEIS A OLHO NU

Finalidade(s):

Tentar reconhecer os planetas no céu noturno e acompanhar seus movimentos aparentes por entre as constelações do Zodíaco.

Material necessário:

Um relógio, um lápis, folhas de papel, um mapa celeste (ex. Figura 1.3) e um binóculo.

Passos:

- ✓ Escolha um local longe da iluminação urbana com boa visibilidade do horizonte, que será o sítio de suas observações astronômicas.
- ✓ Tente identificar os planetas por entre as constelações do Zodíaco. Mercúrio e Vênus somente são observados durante os crepúsculos sempre acompanhando o Sol na direção do poente ou do nascente. Por essa razão e por possuir um brilho intenso, Vênus é confundido como estrela vespertina ou matutina (“estrela” d’alva). Mercúrio afasta menos angularmente do Sol do que Vênus e não é muito brilhante. Vênus é o segundo astro mais brilhante do céu noturno (o planeta mais brilhante dos cinco) e tem cor branca. Marte varia muito pouco de brilho durante o ano e apresenta cor avermelhada. Júpiter é o segundo planeta mais brilhante sendo de cor esbranquiçada. Saturno é o terceiro planeta mais brilhante e tem cor meio amarelada. Todos os planetas são observados a olho nu como pontos brilhantes, porém não cintilam como as estrelas. Contudo, não são puntiformes e sim apresentam dimensões angulares que podem ser visualizadas com um binóculo.
- ✓ Procure saber em qual constelação zodiacal cada planeta se encontra. Os planetários ou um anuário astronômico oferecem essa informação.
- ✓ Tente acompanhar a “dança dos planetas” por entre as constelações zodiacais a cada 15 ou 30 dias dependendo do planeta durante os meses do ano.
- ✓ Aproveite para visualizar os aspectos dos planetas com o binóculo. Tente ver as fases de Vênus, os detalhes da superfície de Marte, as faixas atmosféricas de Júpiter, os satélites galileanos de Júpiter e os anéis de Saturno. Mais detalhes das características físicas dos planetas são encontradas no Capítulo 3 da apostila texto do Curso.

Resultado(s):

Relacione suas observações com os Modelos Geocêntrico e Heliocêntrico. Veja qual é o melhor modelo para explicar os movimentos aparentes de todos os planetas, inclusive as laçadas. Apresente suas dificuldades e conclusões.

2 SISTEMA SOLAR

2.1 O SISTEMA SOLAR NUMA REPRESENTAÇÃO TEATRAL¹

João Batista Garcia Canalle

Resumo

Durante os cursos de aperfeiçoamento que ministrei, para professores de primeiro grau da Rede Pública do Município de São Paulo e do Núcleo Regional de Pato Branco, Sudoeste do Paraná, foram desenvolvidas as atividades abaixo descritas, que têm a finalidade de propor uma forma alternativa para ensinar os movimentos dos planetas, luas e cometas do sistema solar. Inicialmente é apresentado um modo "gráfico" de se visualizar as distâncias dos planetas ao Sol, fazendo-se uso de uma escala apropriada. Utilizando esta escala, pede-se ajuda aos alunos para desenharem círculos sobre uma quadra de esportes. Sobre estes círculos, que representam as órbitas dos planetas, os alunos caminham, correm, giram, etc., mostrando, assim, o sistema solar em movimento. O movimento dos satélites (luas) também é representado. Usando a mesma escala dos círculos, um barbante e duas pequenas estacas, mostramos como desenhar a elipse referente à órbita do cometa Halley. O seu movimento também é representado por um aluno que anda (e corre) sobre esta elipse. Esta ativa participação dos alunos na confecção dos círculos, elipse e movimentação como planetas, luas e cometas é que chamamos de representação teatral. O tema "Sistema Solar" geralmente é abordado na quinta ou sexta série do primeiro grau, o que depende da seqüência do currículo elaborado pelas Secretarias de Educação dos Estados. Nos cursos de formação de professores de primeiro grau é ensinado pelos professores de Física. Nestas atividades o professor tem a oportunidade de fazer o aluno participar ativamente de sua aula, tornando-a prática e, como verão, também divertida. Além de astronomia, os alunos também estarão trabalhando, praticamente, com a geometria, ao traçarem no chão, círculos e elipse. Os professores que exercitam o salutar hábito de questionar seus alunos antes de explicar, descobrirão alunos com "explicações intuitivas" das mais absurdas; algumas citarei no texto. Professores de pré-escola que tiveram contato com estas atividades disseram que elas são parcialmente aplicáveis também na pré-escola!

Introdução

Quando os livros abordam o tema "Sistema Solar", geralmente trazem uma figura esquemática do mesmo. Esta figura, normalmente é constituída pelo Sol e planetas, sendo que não estão em escala os diâmetros do Sol e dos planetas e nem tão pouco as distância dos planetas ao Sol e não há nenhuma referência nos textos para esse fato. Apesar de não estarem em escala, os planetas maiores são representados por círculos grandes e os planetas menores por círculos pequenos, mas tão fora de escala que a Terra parece ser a metade de Júpiter e este, 3 ou 4 vezes menor que o Sol. Um procedimento experimental para resolver este problema será apresentado num outro artigo. Outro problema dos livros didáticos é sobre as distâncias dos planetas ao Sol. Estas figuras nunca obedecem a uma escala para

¹ Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 11, no. 1, p. 27-32, 1994

distâncias. A figura passa a noção errada de que os planetas estão eqüidistantes uns dos outros. Quando o livro tenta ser mais claro ele coloca uma tabela com as distâncias ao Sol. São números enormes, sendo que ninguém consegue imaginar tais distâncias, e eles não conseguem dar nenhuma noção, aproximada que seja, da distribuição dos planetas ao redor do Sol. É objetivo deste trabalho é oferecer uma solução simples para este problema.

Outro problema que está implícito nestas figuras esquemáticas do sistema solar é que elas costumam representar os planetas enfileirados, um ao lado do outro. Além da figura não dar nenhuma idéia dos movimentos dos planetas, ela permite que as pessoas pensem que os planetas giram ao redor do Sol desta forma, ou seja, um ao lado do outro, sempre em fila. Este autor já teve a oportunidade de encontrar professores que acreditavam nisso e explicaram que pensavam assim porque viram a figura nos livros.

Damos, a seguir, uma sugestão de como resolver estes problemas, com a participação dos alunos, numa forma “teatral”.

As distâncias dos planetas ao Sol

Para darmos uma idéia correta das distâncias médias dos planetas ao Sol, sugerimos que sejam reduzidas as distâncias médias, dos planetas ao Sol, através de uma escala (1). Por exemplo, se adotamos a escala de 10 milhões de quilômetros para cada 1 cm de papel, teremos Mercúrio a 5,8 cm do Sol, pois sua distância média ao Sol é de 58 milhões de quilômetros; Vênus estaria a 10,8 cm do Sol, pois sua distância média é de 108 milhões de quilômetros, e assim para os demais planetas.

Desenvolvemos esta atividade com os alunos da seguinte maneira. Providenciamos tiras de papel, com largura de, aproximadamente, 7 cm e comprimento de 6m. Desenhamos uma bolinha (com 1 ou 2 mm de diâmetro) numa das extremidades da tira para representar o Sol, a partir dessa bolinha desenhamos outra 5,8 cm para representar Mercúrio, Vênus estaria a 10,8 cm do Sol, a Terra fica a 15,0 cm do Sol, Marte fica 22,8 cm, Júpiter a 77,8 cm, Saturno a 143,0 cm, Urano a 287,0 cm, Netuno a 405,0 cm e finalmente, Plutão a 590,0 cm do Sol (todas as distâncias são em relação ao Sol (primeira bolinha)). Colocamos o nome de Sol e de cada planeta sobre a bolinha. Esticamos a tira e teremos uma visão exata da distribuição das distâncias médias dos planetas ao Sol. Numa escala ainda menor, mostramos na Fig. 1 um pedaço da tira.

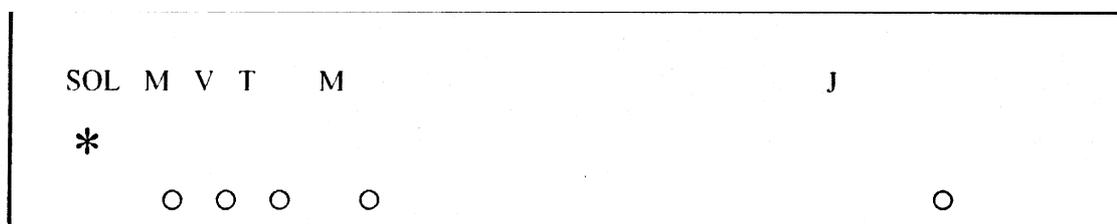


FIGURA 1 –AS LETRAS SOBRE OS PONTOS (PLANETAS) REPRESENTAM MERCÚRIO (M), VÊNUS (V), TERRA (T), MARTE (M) E JÚPITER (J).

Esta é uma atividade que o aluno pode fazer em casa ou em sala de aula e, é claro, a tira fica com ele, para que possa mostrá-la aos familiares e amigos.

Só mesmo fazendo a tira para percebemos como os planetas mais distantes estão incrivelmente mais distantes do Sol, do que os planetas Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

O movimento dos planetas ao redor do Sol

Para mostrar que os planetas giram ao redor do Sol (todos no mesmo sentido) fazemos o seguinte: sobre a tira de papel do item anterior, colocamos um barbante esticado, e sobre o Sol e cada planeta damos um nó. Enrolamos o barbante num cabo de vassoura (de aproximadamente 10 cm de comprimento) para não embaralhar o barbante. Em seguida vamos a uma quadra de esportes e no centro dela seguramos fixo o nó que representa o Sol, mantendo esticado o barbante e segurando um giz no nó que representa Mercúrio, traçamos um círculo sobre a quadra. Repetimos este procedimento traçando um círculo para cada planeta.

Traçados os 9 círculos no piso da quadra, colocamos um aluno, representando o Sol, sobre o centro dos círculos (onde está o Sol). Colocamos outro aluno para andar sobre o círculo de Marte, outro sobre o círculo de Júpiter, outro para andar sobre o círculo de Saturno e idem para Urano, Netuno e Plutão. Sobre os círculos de Mercúrio, Vênus e Terra, não é possível colocar ninguém, pois eles estão próximos demais do aluno que representa o Sol. Feito este posicionamento inicial, sugiro, abaixo uma série de procedimentos para ilustrar o movimento dos planetas, seus satélites e cometas.

1° - Explicar que a velocidade dos planetas diminui com a distância dele ao Sol; assim sendo, o aluno que representar Marte deve correr sobre a órbita (círculo) de Marte, aquele que representar o movimento de Júpiter deverá correr mais devagar, quem representar Saturno apenas andará, e assim sucessivamente, tal que o aluno-Plutão caminhará pé-ante-pé

2° - Explicar que o tempo gasto pelo planeta (aluno) para dar uma volta ao redor do Sol é chamado de período de translação e representa a duração do ano do planeta. A Terra gasta 365,25 dias para fazer este movimento. Os planetas mais próximos do Sol gastam menos tempo que a Terra e aqueles que estão mais distantes gastam mais tempo que a Terra. Pode-se observar do movimento dos alunos que aqueles que estão mais próximos do Sol gastam muito menos tempo para dar uma volta ao redor do Sol do que aqueles que estão mais distantes.

3° - Coloque os alunos a se moverem, representando o sistema solar, e dê as explicações 1 e 2 acima. Depois de algumas voltas dos alunos, pare-os e explique que, além dos planetas girarem ao redor do Sol, eles giram ao redor de si mesmos, vamos pedir então, para que os alunos-planetas também façam isso, ou seja, caminhar sobre o círculos enquanto giram sobre si mesmos. Para que possam combinar os dois movimentos é preciso que transladem mais devagar, para se evitar quedas.

4° - Explicar, também, que o tempo gasto pelo planeta para girar sobre ele mesmo é chamado de período de rotação. A Terra executa esse movimento em 24 horas

(aproximadamente). É esse movimento que dá origem ao dia e à noite. Na translação todos os planetas giram no mesmo sentido, horário, digamos, mas na rotação 8 planetas giram sobre si no mesmo sentido, horário, por exemplo, sendo que Vênus gira no sentido contrário. Também é preciso lembrar que o eixo de rotação dos planetas não é perpendicular ao plano de sua órbita, ao contrário do que vemos na quadra, onde o eixo de rotação dos alunos-planetras é perpendicular ao plano da quadra.

5° - Explicar o dia e a noite da seguinte maneira: supondo que a cabeça dos alunos que estão orbitando (circulando) o Sol, seja a Terra, quando o aluno está de frente para o Sol é dia no seu rosto e noite na sua nuca, e quando ele está de costas para o Sol é dia na sua nuca e noite no seu rosto, pois ele está vendo o Sol.

6° - Além desses movimentos (translação e rotação) os planetas executam outros movimentos, mas que não são factíveis de serem representados com o corpo humano.

7° - Também é preciso chamar a atenção para o fato de que o plano das órbitas dos planetas não são coincidentes, como ocorre na quadra, mas que na verdade, estão ligeiramente inclinados uns em relação aos outros.

8° - Falta ainda esclarecer que as órbitas dos planetas não são exatamente círculos, como desenhados no chão, na verdade são órbitas ligeiramente achatadas, que chamamos de elipse e serão estudadas mais adiante.

O movimento das luas ao redor dos planetas

Depois dos movimentos de translação e rotação dos alunos-planetras e das explicações acima, podemos incluir as luas (satélites naturais) nos movimentos do sistema solar. Com exceção de Mercúrio e Vênus, todos os demais planetas possuem luas que giram ao redor deles. Vejamos como representar o movimento das luas ao redor dos planetas.

9° - Inicialmente vamos ilustrar o movimento da Lua ao redor da Terra. Vamos fazer um aluno representar a Terra, e como a órbita (círculo) da Terra está muito próximo ao pé de aluno que está representando o Sol, vamos usar o círculo que representa a órbita de Urano. Os demais planetas (alunos) não participam desta atividade, apenas observam. Enquanto o aluno-Terra gira sobre si o ao redor do Sol (muito lentamente), outro aluno, que representa a Lua, deve girar ao redor da Terra, mas sempre olhando para a Terra, pois a Lua sempre mostra a mesma face para a Terra, O aluno-Terra não fica olhando para a “Lua”. Já encontrei pessoas que acreditavam que o ocidente via uma face da Lua e que o oriente via só a outra face da Lua. Outras pessoas não imaginam que a Lua gira sobre si mesma. Esta atividade ajuda a esclarecer tais dúvidas.

10° - Marte tem duas luas, chamadas Fobos e Deimos. Vamos representá-las de modo análogo ao que fizemos para o sistema Terra-Lua. Substitui-se os alunos Terra e Lua, por outro que será Marte e outros dois que representarão as luas Fobos e Deimos. Marte gira ao redor do Sol e sobre si mesmo, enquanto que suas luas giram ao seu redor. Também é preciso usar o círculo que representa a órbita de Urano, pelo motivo exposto no item 9. Ainda não é sabido se as luas dos demais planetas apresentam sempre a mesma face para eles, como faz a lua da Terra.

11° - O mesmo procedimento fazemos para Júpiter e suas luas. Como este é o maior dos planetas, usamos sempre o maior dos alunos para representá-lo. Como ele tem 16 luas, também devemos usar o círculo que representa a órbita de Urano, pelo motivo explicado no item 9.

12° - Analogamente se faz para Saturno e suas 17 luas. Como Saturno tem anéis pedimos ao aluno que representa Saturno para girar com os braços abertos para representar os anéis. Também pode-se usar o bambolê.

13° - Analogamente para Urano e suas 15 luas.

14° - Idem para Netuno e suas 8 luas.

15° - Idem para Plutão com sua única lua.

O movimento dos cometas ao redor do Sol

Mas, além do Sol, planetas e luas, o sistema solar também tem os cometas. Vejamos como podemos representá-los na quadra. Vamos usar, como exemplo, o cometa Halley. Este cometa é periódico e tem órbita bastante excêntrica, isto é, sua órbita é uma elipse bastante achatada.

16° - Para desenhar a órbita do Halley na mesma escala para os planetas, corta-se um barbante com 10,4 m de comprimento e dá-se um nó a 5,1 m de uma das pontas. Veja esquema na Fig.2.

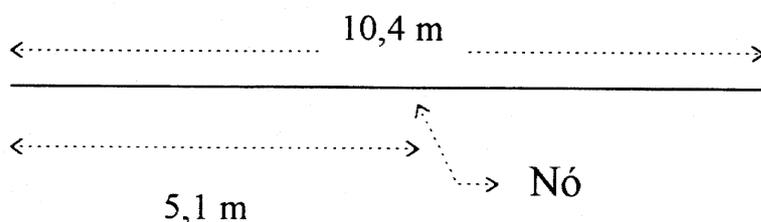


FIGURA 2 – ESQUEMA DA POSIÇÃO DO NÓ SOBRE O BARBANTE USADO PARA A CONSTRUÇÃO DA ELIPSE DO COMETA HALLEY.

A seguir amarra-se as pontas. Pressiona-se, então verticalmente, a tampa de uma caneta (ou de um pedaço de cabo de vassoura) contra o centro dos círculos (Sol) e de outra a 5,1 m do Sol (a distância entre os 2 nós do bastante). Coloca-se o barbante ao redor dessa tampas de canetas, estica-se o barbante e risca-se o chão com um giz, conforme ilustra a Fig. 3. A posição onde estão as canetas chamamos de focos da elipse e o Sol está num desses focos, como diz a 1ª lei de Kepler.

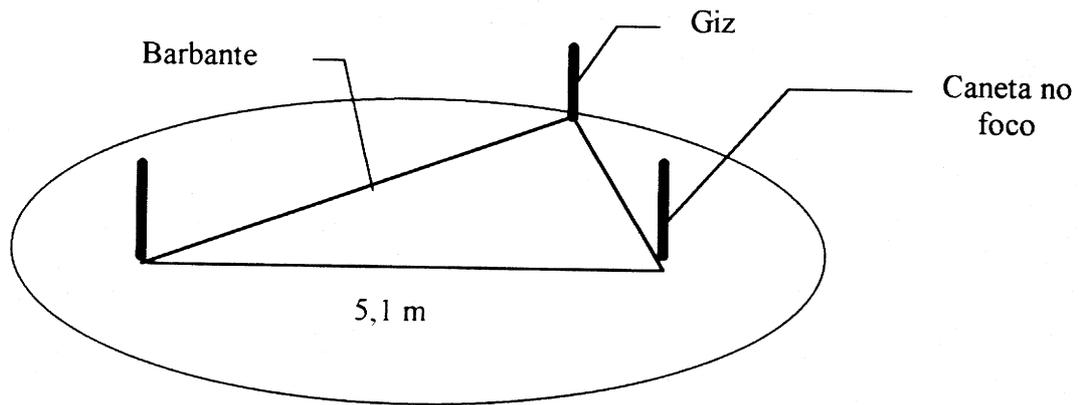


FIGURA 3- ESQUEMA DO PROCEDIMENTO USADO PARA DESENHAR A ELIPSE

17° - Para representarmos, esquematicamente, a cauda do cometa riscamos o chão, conforme ilustra a Fig. 4. Observe que a cauda é sempre radial ao Sol.

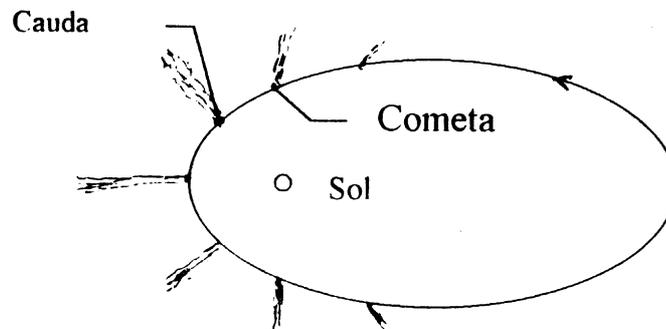


FIGURA 4 – ESQUEMA DA CAUDA DO COMETA

18° - Para representarmos o movimento do cometa pede-se para um aluno representar o Sol (que fica no centro dos círculos, girando lentamente sobre si mesmo) e outro representar o cometa. O aluno-cometa deve andar lentamente quando está longe do Sol, aumentar gradativamente sua velocidade enquanto se aproxima do Sol, correr quando passa próximo do Sol e diminuir gradativamente sua velocidade enquanto se afasta do Sol, pois é assim que faz o cometa. A movimentação do aluno-cometa deve ocorrer sobre a elipse desenhada no item 17°.

19° - Para finalizar, coloca-se todos os alunos-planetras, o aluno-Sol e o aluno cometa para se moverem simultaneamente ao redor do Sol. Mas como o Sol não é uma estrela fixa, faça o aluno-Sol caminhar em direção a um dos cantos da quadra, carregando consigo todo o sistema solar.

Conclusão

Com as atividades acima descritas, o professor melhor ilustra sua explicação sobre o movimento dos planetas, luas e cometas ao redor do Sol. O aluno, por outro lado, tende a entender melhor estas explicações, pois além de estar ouvindo e vendo, ele está participando delas.

Referências

(1) Laboratório Básico Polivalente de Ciências – para 1º grau, FUNBEC, p. 157.163, 2ª edição, 1986.

TABELA COM AS DISTÂNCIAS MÉDIAS DOS PLANETAS AO SOL

Planeta	Distância média (DM) ao Sol (km)	Distância ao Sol na escala (DE) adotada (cm)	Segmento da tira onde esta o planeta	Distância no segmento (cm)
Mercúrio	57.910.000	5,8	1	5,8
Vênus	108.200.000	10,8	1	10,8
Terra	149.600.000	15,0	1	15,0
Marte	227.940.000	22,8	1	22,8
Júpiter	778.330.000	77,8	3	17,8
Saturno	1.429.400.000	142,9	5	22,9
Urano	2.870.990.000	287,1	10	17,1
Netuno	4.504.300.000	450,4	16	0,4
Plutão	5.913.520.000	591,4	20	21,4
Estrela Alfa Centauro	4,1 10 ¹³ km	4.067.800 (= 40,7 km)	135.594	10

Escala usada: 10.000.000 km para cada 1 cm (DE = DM/10.000.000)

2.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS TAMANHOS DOS PLANETAS E DO SOL²

João Batista Garcia Canalle
Inez Aparecida Gonçalves de Oliveira

Resumo

Como é possível dar uma visão concreta do tamanho dos planetas e do Sol aos alunos da pré-escola, do primeiro e segundo grau sem recorrer aos números? Escolhendo uma escala apropriada, representamos o Sol por uma esfera de 80,0 cm de diâmetro e, conseqüentemente, os planetas são representados por esferas com os seguintes diâmetros: Mercúrio (2,9 mm), Vênus (7,0mm), Terra (7,3mm), Marte (3,9mm), Júpiter (82,1mm), Saturno (69,0 mm), Urano (29,2 mm), Netuno (27,9 mm) e Plutão (1,3 mm). As bolinhas que representam os planetas, construímos com argila ou durepoxi (ou até mesmo usando sementes e frutas). O Sol (80,0 cm), por outro lado, só pode ser representado por uma bexiga de aniversário, de tamanho gigante, enchida na saída do ar de um aspirador de pó, para alegria da criançada e espanto de todos.

Introdução

Quando os livros didáticos abordam o tema “SISTEMA SOLAR”, geralmente apresentam uma figura esquemática do mesmo. Nesta figura o Sol e os planetas são desenhados sem escala e isto não é escrito no texto, o que permite ao aluno imaginar que o Sol e os planetas são proporcionais àquelas bolinhas (discos) lá desenhados. Apesar de não estarem em escala, os planetas maiores são representados por bolinhas grandes e os menores por bolinhas pequenas, mas sem nenhuma preocupação com escalas. Em alguns livros o diâmetro do Sol é comparável ao de Júpiter, o que é um absurdo, claro!

Alguns livros apresentam, além das figuras esquemáticas, uma tabela com os diâmetros do Sol e dos planetas. Esta tabela também não ajuda muito, porque não se consegue imaginar as diferenças de tamanho dos planetas e do Sol apenas vendo os números dos seus diâmetros.

Sugerimos abaixo um procedimento experimental, que os alunos podem executar como tarefa extraclasse, reproduzindo (ou não) o material do professor e que permite visualizar corretamente a proporção dos tamanhos dos planetas e do Sol, sem recorrer aos valores reais dos seu diâmetros.

Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol através de esferas

Para darmos uma visão concreta do tamanho dos planetas e do Sol, representamos o Sol por uma esfera de 80,0 cm de diâmetro e, conseqüentemente, os planetas serão representados, na mesma proporção, por esferas com os seguintes diâmetros: Mercúrio (2,9 mm), Vênus (7,0 mm), Terra (7,3 mm), Marte (3,9 mm), Júpiter (82,1 mm), Saturno (69,0 mm), Urano (29,2 mm), Netuno (27,9 mm) e Plutão (1,3 mm). A Figura 1 representa, no plano, os discos dos planetas.

² Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 11, no. 2, p. 141-144, 1994

Usamos argila para fazer as esferas correspondentes ao planetas Júpiter e Saturno, que são os dois maiores. Escolhemos argila porque é um material de baixo custo, facilmente encontrada em papelarias e apenas 1 Kg de argila é suficiente para fazer as referidas esferas. Há entretanto um detalhe: argila, quando seca, encolhe um pouco, portanto recomendamos fazer as duas esferas um pouco maiores, isto é, Júpiter com 90,0 mm e Saturno com 75,0 mm de diâmetro, pois quando secos, atingirão (ou ficarão próximos) dos diâmetros corretos.

Recomendamos fazer as esferas dos demais planetas usando durepoxi (uma caixa pequena é suficiente). Este material praticamente não escolhe quando seco e sua secagem é mais rápida que a da argila.

Nada impede que se faça as esferas de Júpiter e Saturno com durepoxi (exceto o custo), mas é possível fazer as bolinhas com papel amassado (colocando fita ao redor para fixar o papel) de diâmetro pouco menor que o recomendado e colocar, então uma camada final de durepoxi ao redor das bolinhas de papel, até atingirem o diâmetro desejado. A vantagem das bolinhas com argila ou durepoxi é que elas podem ser pintadas, mas se você não estiver interessado neste detalhe, uma outra opção de, custo zero, é fazer as bolinhas só com papel bem amassado, envoltas em fitas adesiva. Certamente quem se dispuser a procurar materiais alternativos para esta atividade, vai encontrar vários. Os autores agradeceriam se fossem informados.

Se for usado um material que não encolhe (ou encolhe muito pouco) quando seco, basta fazer as bolinhas e colocá-las sobre os círculos da Figura 1 para verificar se estão do tamanho correto.

Os planetas podem ser pintados depois de prontos e secos. Se for colocado um clips dentro da bolinha enquanto ela estiver mole, teremos um gancho para penduramos os planetas na forma de móbile.

Para representarmos o Sol, usamos uma bexiga (amarela, de preferência) de aniversário, tamanho grande (aquela que geralmente é colocada no centro do salão de festas, com pequenos brindes dentro dela e é estourada ao fim da festa), a qual é encontrada em casas de artigos para festas (ou atacadistas de materiais plásticos). Existem diversos tamanhos de bexigas grandes, de diversos fabricantes e, portanto, de diversos preços.

Enchemos a bexiga no tamanho certo, usando um pedaço de barbante de comprimento (C) igual a 2,51 m, com as pontas amarradas, pois $C = 3,14 D$, sendo $D = 80$ cm (o diâmetro que a bexiga deve ter). À medida que a bexiga vai sendo enchida (na saída do ar do aspirador de pó), colocamos o barbante no seu equador até que o barbante circunde perfeitamente a bexiga. É fundamental que o barbante seja posicionado no equador (meio) da bexiga durante o enchimento, pois se ele ficar acima ou abaixo do equador da bexiga, ela poderá estourar, para alegria da criançada.

Conclusão

Esta atividade permite ver a gigantesca diferença de volume existente entre o Sol e os planetas.

Só mesmo enchendo a bexiga e fazendo as bolinhas que representam os planetas, tomaremos consciência da enorme diferença que existe entre os volumes do Sol e dos planetas.

Os alunos participam animadamente desta atividade. Esta é uma atividade que, uma vez feita, dificilmente se esquece, pois ela é muito marcante.

Fica ainda como sugestão que na impossibilidade de se fazer esta atividade tal como descrita acima, ela seja feita só com discos. Emenda-se duas cartolinas amarelas e recorta-se um disco com 80 cm de diâmetro. Recorta-se e pinta-se também discos de papel com os diâmetros dos planetas e pronto: temos o SISTEMA SOLAR nas mãos para comparações, o que é melhor que tabelas com números e figuras desproporcionais.

Referência

Anuário Astronômico, Instituto Astronômico e Geofísico – USP, São Paulo, 1994.

TABELA COM OS DIÂMETROS EQUATORIAIS DOS SOL E DOS PLANETAS

Astro	Raio Equatorial (km)	R_{astro}	Raio na escala (mm)	Diâmetro Na escala (mm)	Diâmetro Equatorial (km)
		R_{Terra}			
Sol	695.000	109,0	400,0	800	1.390.000
Mercúrio	2.439,7	0,4	1,4	2,8	4.879,4
Vênus	6.051,8	0,9	3,5	7,0	12.103,6
Terra	6.738,14	1,0	3,7	7,3	12.756,28
Marte	3.397,2	0,5	2,0	3,9	6.794,4
Júpiter	71.492	11,2	41,1	82,3	142.984
Saturno	60.268	9,4	34,7	69,4	120.536
Urano	25.559	4,0	14,7	29,4	51.118
Netuno	24.746	3,9	14,2	28,9	49.492
Plutão	1.160	0,2	0,7	1,3	2.320

$$\text{Diâmetro} = 2 \times \text{Raio}$$

$$R_{\text{escala}} = 400 R_{\text{astro}}/R_{\text{Sol}}$$

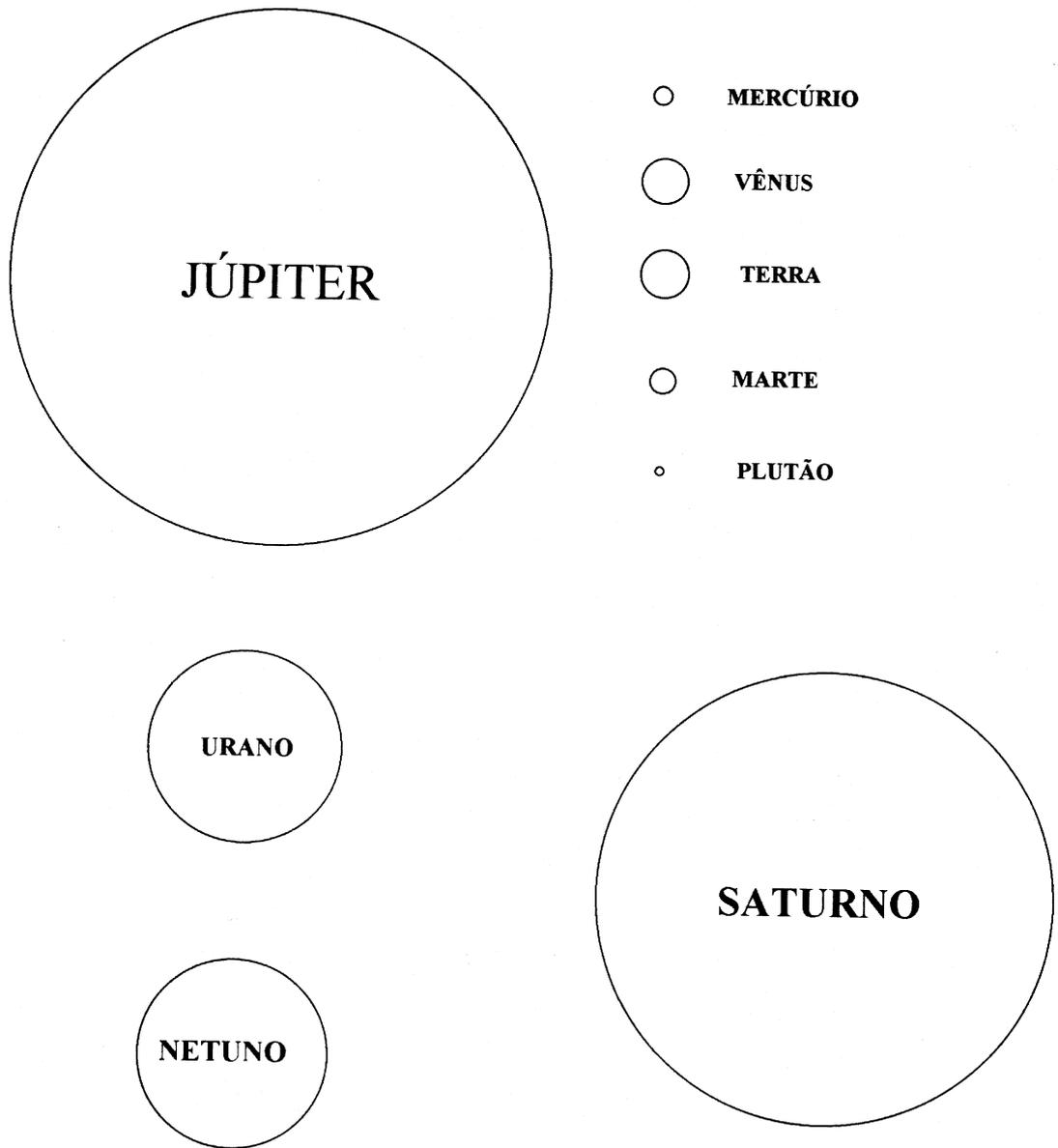


FIGURA 1 – DISCOS DOS PLANETAS NA ESCALA ADOTADA

2.3 O SISTEMA SOLAR EM ESCALA

Sebastião Carlos Crispin
João Batista Garcia Canalle

Resumo

Mostrar as dimensões do Sistema Solar, representando os Planetas e o Sol por esferas em escala reduzida e na mesma escala as distâncias médias dos Planetas em relação ao Sol.

Introdução

O Sistema Solar aparece em vários livros didáticos, através de figuras esquemáticas, onde é mostrado fora de uma escala definida, dificultando assim, sua compreensão.

Esta forma de apresentação do sistema solar pode causar uma série de confusões com relação ao tamanho dos planetas. O mesmo ocorre com relação às distâncias ao Sol.

Este trabalho tem por finalidade mostrar as dimensões do sistema solar de forma simples, com os diâmetros e as distâncias dos planetas, numa mesma escala.

Procedimento

Adotamos uma escala onde o Sol será representado por uma esfera de 80,0 cm de diâmetro que corresponderá a um comprimento da ordem de 1.392.000 Km (que é o diâmetro do Sol) e por simples “regra de três” os diâmetros dos planetas, da Lua e as distâncias médias dos planetas ao Sol poderão ser calculadas.

A Tabela 1 mostra a massa e o diâmetro médio dos planetas e suas distâncias médias ao Sol; o diâmetro do Sol (80,0 cm) e dos planetas (em milímetros) na escala mencionada, bem como suas distâncias médias (em metros), na mesma escala. Para a Lua a distância dada é em relação à Terra.

TABELA 1

Astro	Massa (kg)	Diâmetro		Distância	
		(km)	(mm)	(km)	(m)
Sol	$1,99 \times 10^{30}$	1.392.000	800,0	----	----
Mercúrio	$0,33 \times 10^{24}$	4.860	2,8	57.900.000	33,3
Vênus	$4,87 \times 10^{24}$	12.100	7,0	108.000.000	62,1
Terra	$5,97 \times 10^{24}$	12.760	7,3	149.600.000	86,0
Marte	$0,64 \times 10^{24}$	6.800	3,9	228.000.000	131,0
Júpiter	1899×10^{24}	143.000	82,2	778.000.000	447,1
Saturno	568×10^{24}	120.000	69,0	1.430.000.000	821,8
Urano	$87,2 \times 10^{24}$	50.800	29,2	2.870.000.000	1649,4
Netuno	102×10^{24}	49.400	28,4	4.500.000.000	2586,2
Plutão	$0,02 \times 10^{24}$	2.740	1,6	5.900.000.000	3390,8
(*) Lua	$73,5 \times 10^{21}$	3.840	2,0	384.000	0,20

Para representarmos o Sol usaremos uma bexiga de aniversário cheia de ar com diâmetro de 80,0 cm. Para enchê-la é só colocá-la na saída de ar de um aspirador de pó. Para determinarmos o diâmetro de bexiga usaremos um barbante com comprimento de 2,51 m com suas pontas amarradas, o qual colocaremos ao redor da bexiga, conforme ela for enchendo através da saída de ar do aspirador de pó.

Para colocarmos os planetas nas respectivas distâncias ao Sol, usaremos 90,0 m de linha grossa (quase um carretel) ou barbante, e bolinhas de durepoxi que representarão Mercúrio, Vênus, Terra e Lua. Enquanto o durepoxi das bolinhas estiver mole, fixamos um pedaço de linha nas bolinhas, as quais serão, então, amarradas nas seguintes distâncias Mercúrio 33,3 m, Vênus 62,1 m e a Terra a 86,0 m, sobre o barbante ou linha usada.

A Lua será representada por uma bolinha de durepoxi com diâmetro de 2,0 mm que estará presa a 20,0 cm da Terra, conforme é apresentado na Tabela 1.

Demonstração

Um aluno vai segurar a bexiga (o Sol) e uma ponta da linha, outro em Mercúrio, outro em Vênus e outro na Terra esticando a linha. Os demais alunos poderão, então ter uma idéia das distâncias dos Planetas ao Sol, assim como dos seus tamanhos em relação ao Sol.

Veja na Fig. 1, o nosso Sistema Solar representado sem escala, (Sol até a Terra).

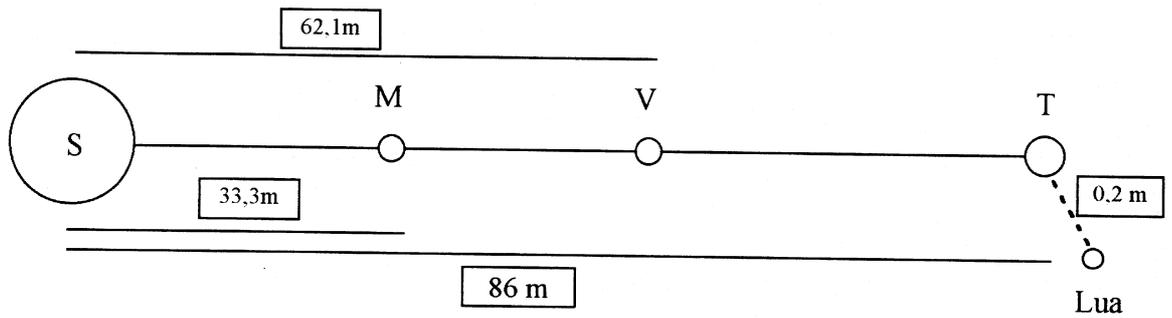


FIGURA 1 – ESQUEMA DE COMO FICA O EXPERIMENTO SUGERIDO

Comentários

Com esta demonstração prática dos tamanhos e distâncias dos três primeiros planetas (Mercúrio, Vênus e Terra com sua Lua), é possível ver a imensidão do Sistema Solar. Não representamos os demais planetas porque precisaríamos de muito mais linha e espaço.

Nesta escala, Marte estaria a uma distância de 131,0 m e para Plutão o mais afastado estaria, a uma distância de 3.390,8 m, ou seja 3,39 Km! Esta distância é cerca de 40 vezes a distância entre a Terra e o Sol.

2.4 PRIMEIRA LEI DE KEPLER - LEI DAS ÓRBITAS

Resumo

Nesta atividade vamos desenhar as órbitas dos planetas e de alguns cometas, usando as excentricidades conhecidas das respectivas órbitas. Observaremos que as órbitas dos cometas periódicos são, em geral, muito excêntricas enquanto as dos planetas são pouco excêntricas.

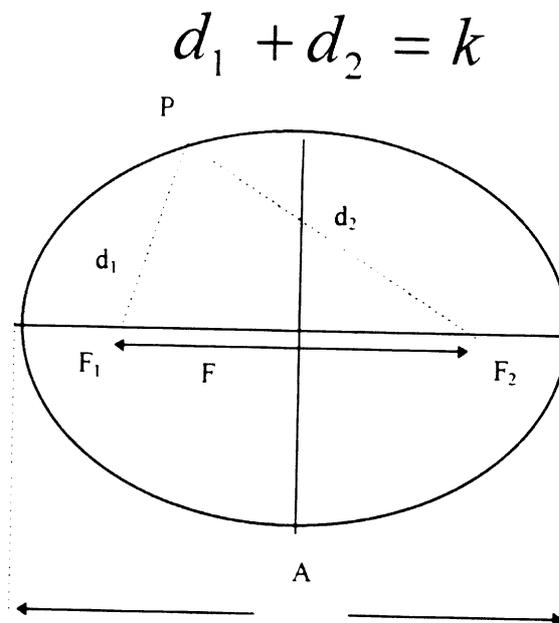
Objetivamos também mostrar que, aqueles que conhecem esta lei, fazem uma idéia completamente errada da excentricidade das órbitas dos planetas, pois as consideram muito mais excêntricas do que realmente o são, isto devido, principalmente, aos desenhos destas órbitas que se vê nos livros didáticos.

Introdução

O enunciado da primeira lei de Kepler, ou lei das órbitas, diz que:

Todo planeta descreve uma órbita elíptica ao redor do Sol, estando este num dos focos da elipse.

Define-se uma elipse como o conjunto dos pontos cuja soma das distâncias (d_1 e d_2) destes pontos a dois pontos fixos (F_1 e F_2), chamados **focos**, é uma constante (k), isto é:



Definimos a excentricidade (“achatamento”) da elipse como sendo a razão entre a distância entre os focos ($F = F_1 F_2$) (ou distância interfocal) e o comprimento do eixo maior (A). Representamos a excentricidade da elipse pela letra “e”, assim sendo:

$$e = F/A$$

Um círculo é um caso particular de uma elipse, isto é, o círculo é uma elipse sem “achatamento” algum, ou como chamamos, de excentricidade nula,, pois os focos são coincidentes com o centro do círculo e assim sendo, $F = 0$, e, portanto, $e = 0$

Excentricidade das órbitas dos planetas

Planeta	Excentricidade
Mercúrio	0,2
Vênus	0,007
Terra	0,02
Marte	0,09
Júpiter	0,05
Saturno	0,06
Urano	0,05
Netuno	0,009
Plutão	0,25

Procedimento

Para desenharmos as órbitas precisamos executar dois passos:

1. Descobrir qual é a distância entre os focos.

Mas conhecida a excentricidade “e” e escolhida o comprimento do eixo maior “A”, arbitrariamente, como sendo, por exemplo 20 cm, obtemos a distância interfocal F, pelo produto:

$$F = e \cdot A$$

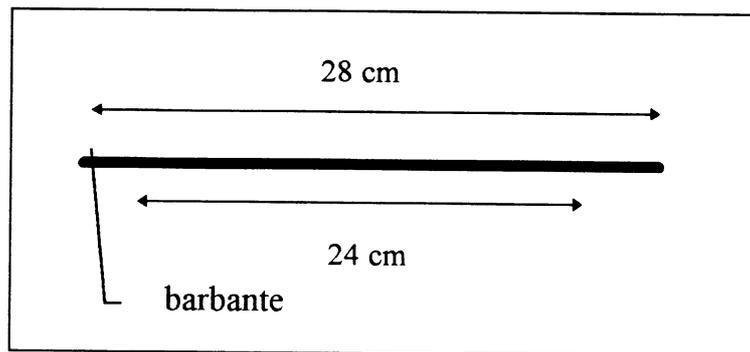
Por exemplo, para a excentricidade de Mercúrio ($e = 0,2$) e $A = 20$ cm, temos que

$$F = 0,2 \times 20 = 4,0 \text{ cm.}$$

2. Descobrir qual é o comprimento “L” do barbante a ser usado para desenhar a elipse. Vamos usar o método do jardineiro. Esse comprimento é dado pela soma de F mais A, ou seja:

$$L = F + A$$

Em nosso exemplo, $A = 20$ e $F = 4,0$ cm, logo $L = 24$ cm, assim sendo, é só cortar um pedaço de barbante com pouco mais de 24 cm, por exemplo, 28 cm, para que possamos amarrar as pontas (CD) do barbante, que definem o comprimento $L = 24$ cm, como mostra a figura abaixo:



Em seguida é só abrir um compasso com a separação F (ou fincar dois pregos separados pela distância F), envolver as pontas do compasso com o barbante do item 2 acima e, com um lápis sempre na vertical, e o barbante sempre esticado, traçar a elipse, como ilustra a figura abaixo.

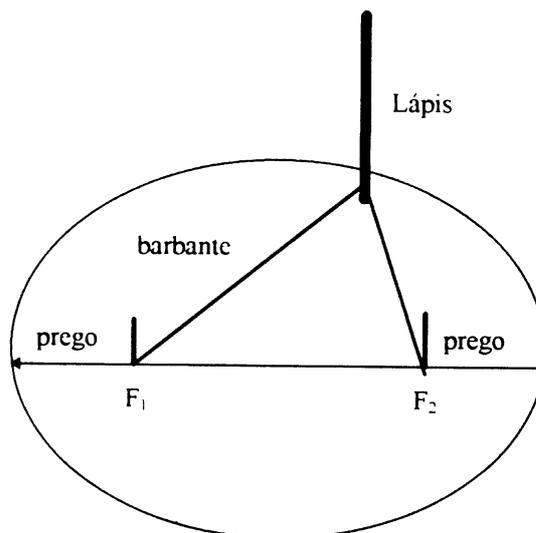
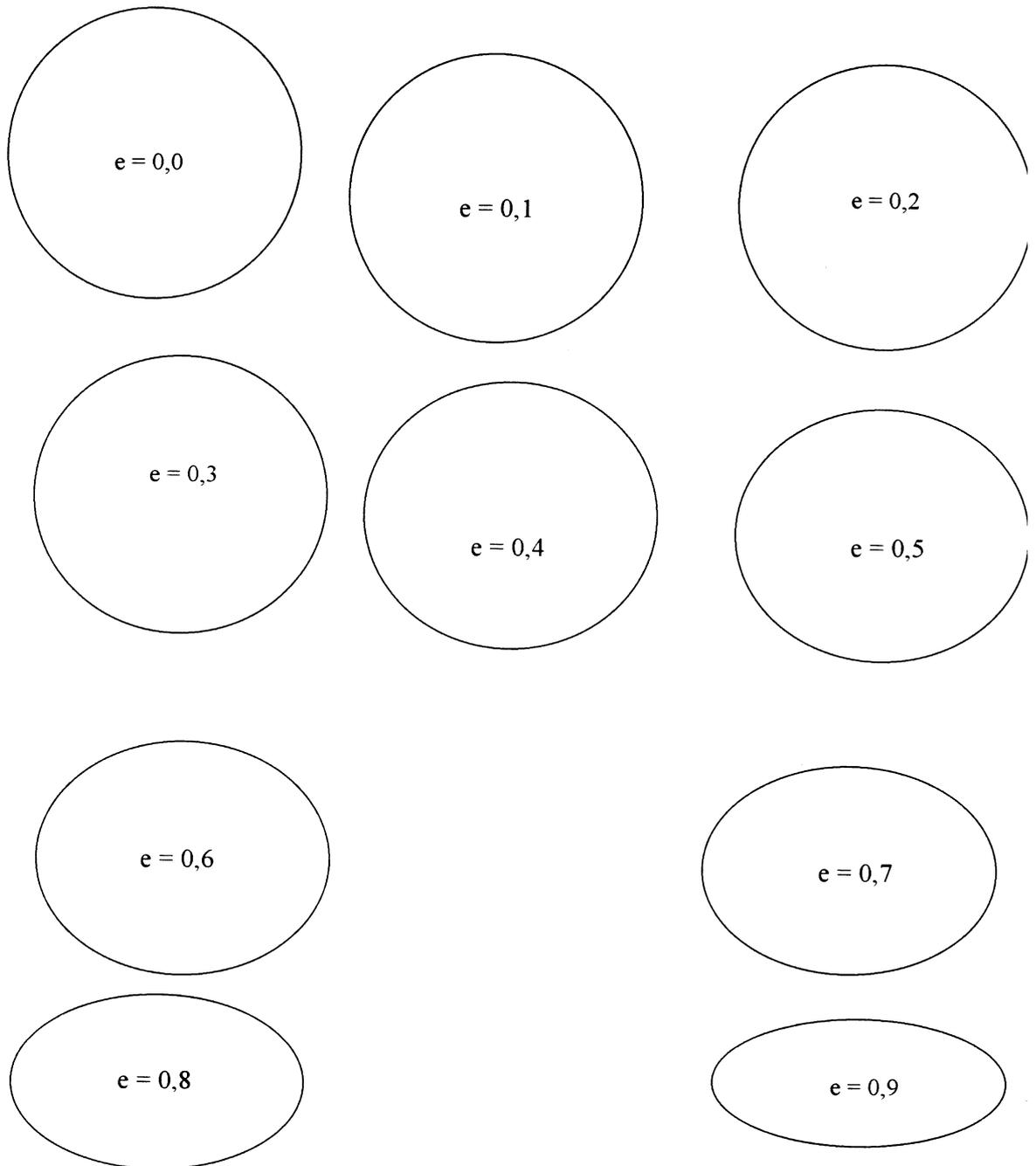


FIGURA – ESQUEMA DO MÉTODO DO JARDINEIRO PARA DESENHAR UMA ELIPSE

Conclusão

Conhecendo-se a definição de excentricidade, conhecendo-se as excentricidade das órbitas dos planetas e desenhando-se as mesma vemos que estas órbitas são muito aproximadamente circulares, ao contrário do que comumente se pensa. A órbita dos cometas, por outro lado, são muito mais excêntricas que as dos planetas e se assemelham mais à figura referente a $e = 0,9$.

Exemplo de elipses com 10 diferentes excentricidades



2.5 TERCEIRA LEI DE KEPLER – LEI DOS PERÍODOS

Resumo

Nesta atividade vamos calcular o valor da constante mencionada nesta Lei. Vamos usá-la para descobrir os períodos de outros planetas e ilustrar graficamente a relação matemática que representa a terceira lei de Kepler, ou Lei dos Períodos.

Introdução

Kepler conhecia os períodos de translações dos planetas, conhecidos naquela época (de Mercúrio a Saturno), em termos do período de translação da Terra e conhecia também para estes mesmos planetas, suas distâncias médias ao Sol, em termo, também, da distância média da Terra ao Sol. Chamamos a distância média Terra-Sol de Unidade Astronômica e a representamos por UA (1 UA = 149.600.000 Km). Enfim, Kepler tinha a seguinte tabela de valores em suas mãos:

Planeta	Período (T – em anos terrestres)	Distância (D – em UA)
Mercúrio	0,24	0,39
Vênus	0,62	0,72
Terra	1,00	1,00
Marte	1,88	1,52
Júpiter	11,86	5,20
Saturno	29,46	9,54

Com esses valores ele descobriu a relação matemática que existe entre T e D, a qual recebeu o nome de Lei dos Períodos, que diz:

A razão entre o quadrado do período pelo cubo da distância é uma constante.

Lembrando que o período mencionado é o de translação do planeta e a distância mencionada é a distância média do planeta ao Sol.

Atividades

- 1) Descobrir qual é o valor da constante mencionada na Lei dos Períodos. Para tanto basta calcular o quadrado de cada período e dividi-lo pelo cubo da

respectiva distância. Ache o valor dessa constante para cada planeta e calcule seu valor médio, isto é, some seus valores e divida pelo número deles.

- 2) Posteriormente foram descobertos os planetas Urano, Netuno e Plutão, com as seguintes distâncias médias ao Sol, em Unidade Astronômicas (UA): 19,19, 30,08 e 39,46 respectivamente. Use a Lei dos Períodos e encontre os períodos de translação destes planetas.³
- 3) Complete a tabela acima com os valores encontrados no item 2 e faça um gráfico do quadrado dos períodos (no eixo das ordenadas) em função do cubo das distâncias médias dos planetas ao Sol (no eixo das abcissas) e trace a reta média através destes pontos. Verifique que o coeficiente angular desta reta é igual ao valor médio da constante da Lei dos Períodos.

Conclusão

Com as três Leis de Kepler ficam estabelecidas as leis que regem os movimentos de todos os planetas e cometas. Elas modificam o conhecimento que se tinha até então, sobre o movimento dos planetas, dados por Ptolomeu⁴.

³ Resposta: 84, 164 e 247 anos terrestres

⁴ Cláudio Ptolomeu, astrônomo, geógrafo e matemático alexandrino, que viveu entre 90 e 160 d.C.. Sua principal obra é o grande sistema astronômico que ficou conhecido como Almagesto, na versão árabe. Sua principal contribuição à astronomia foi ter elaborado a teoria geocêntrica para o movimento dos planetas.

2.6 ACHATAMENTO DOS PLANETAS

Resumo

Devido à rotação, os planetas sofrem forças que tendem a fazer o diâmetro polar ser menor que o diâmetro equatorial. Nesta atividade sugerimos a construção de um pequeno experimento que quando colocado em rotação se achata, ilustrando assim, o fenômeno que ocorre nos planetas.

Introdução

Os planetas não são corpos inteiramente rígidos. A terra, por exemplo, tem um núcleo rígido, mas entre a crosta e esse núcleo rígido existe uma região chamada manto que não é rígida. Embora a rotação da Terra seja lenta, existe uma diferença de 40 Km entre os diâmetros equatorial e polar. Obviamente essa diferença é relativamente pequena comparado com os 12.756 Km de diâmetro equatorial.

Vamos definir o achatamento (A) do planeta pela razão entre seus diâmetros polar (Dp) e equatorial (De).

$$A = D_p/D_e$$

Na tabela abaixo fornecemos o achatamento dos planetas para os quais esse parâmetro é conhecido

Planeta	Achatamento
Mercúrio	-
Vênus	-
Terra	0,996
Marte	0,995
Júpiter	0,938
Saturno	0,904
Urano	0,938
Netuno	0,980
Plutão	-

Esta tabela mostra que os planetas chamados “gasosos” (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) têm o maior achatamento.

Atividade

Um modo simples de ilustrar que tudo que gira e não é rígido tende a se achatar, isto é, ter seu diâmetro ao longo do eixo de rotação menor que seu diâmetro medido perpendicular a este, é construindo-se um anel com um material flexível (como por exemplo uma chapa plástica), colocando-se um eixo de rotação e dando-se um impulso angular para colocá-lo em rotação. Uma vez em rotação observa-se o mesmo fenômeno que ocorre com os planetas.

Como o mencionado impulso angular faz com que o experimento gire muito mais rápido que os planetas e por ser muito menos rígido que os planetas, o anel se achata muito, o que não acontece com os planetas pois suas velocidades de rotação são pequenas comparada ao do experimento mencionado.

Segurando-se o gira-gira na horizontal, com as duas mãos, com o indicador, por exemplo, da mão direita pode-se dar um impulso angular e colocá-lo em rotação, observando o conseqüente achatamento.

Conclusão

Esta é uma atividade que serve para ilustrar o que ocorre com os planetas, mas é muito importante que fique claro ao aluno que os planetas não giram tão rápido quanto o experimento, não são tão flexíveis quanto o experimento e, portanto, não se achatam tanto como observamos no gira-gira.