

## Apêndice B

### Astronomia, movimento e sondas espaciais

#### Capítulo 1: Conhecendo o Sistema solar com as Voyager

##### I. INTRODUÇÃO

Não é difícil encontrar alguém que tenha sonhado com uma viagem espacial, em sair do planeta Terra, atravessar o sistema solar conhecendo seus planetas e seguir universo afora rumo ao desconhecido. Pois é, esta aventura sonhada por muitos está acontecendo, já desde 1977, com as sondas gêmeas *Voyager 1* e *2*. Esse projeto foi encabeçado pelo famoso Físico estadunidense **Carl Sagan** (1934-1996) da Universidade de Cornell, mas não seria um exagero dizer que toda a humanidade está fazendo parte dessa aventura pois ela é fruto da curiosidade, coragem e engenhosidade humanas. Vamos, a partir de agora, conhecer em detalhes esta e outras aventuras protagonizadas pelas sondas espaciais, as nossas desbravadoras do Universo.

Nossa aventura começou no dia 20 de agosto de 1977 com o lançamento da *Voyager 2* e logo depois, em 05 de setembro de 1977, com o lançamento da *Voyager 1*. As sondas tinham como objetivo estudar os primeiros planetas gasosos a partir do Sol, Júpiter e Saturno, que até então só tinham sido visitados pelas sondas *Pioneer 10* e *11*, respectivamente em 1973 e 1974.

Já poucos dias após seu lançamento enquanto seguia rumo à Júpiter, a *Voyager 1* deu uma demonstração das maravilhas que viriam desta aventura ao enviar a primeira foto da Terra e da Lua em quadro único. A *Voyager 1* chegou em Júpiter em março de 1979 e a *Voyager 2* em julho de 1979. Em Júpiter, as sondas iniciaram uma grande sequência de descobertas e sucessos, mostraram pela primeira vez a superfície dos satélites galileanos (com seus vulcões ativos), Ganimedes, Calisto e Europa com sua superfície lisa; descobriram os anéis de Júpiter e três novos satélites - Métis, Adrastea e Tebe.

Em Saturno, a *Voyager 1* seguindo uma trajetória próxima aos anéis e do satélite Titã e a *Voyager 2* numa trajetória que a colocaria a caminho de Urano, realizaram grandes descobertas: quatro novos satélites observados (Prometeu, Pandora, Atlas e Pan), dezenas de novos anéis estreitos, a grande cratera (Herschel) na superfície de Mimas e a variação de brilho entre os hemisférios de Iapetus. Após Saturno, a *Voyager 1* iniciou sua viagem para fora do sistema

SUPERNOVAS SÃO  
CORPOS CELESTES DE  
EXTREMA  
LUMINOSIDADE  
SURGIDOS DA EXPLOSÃO  
DE ESTRELAS COM  
GRANDE MASSA. O  
BRILHO DE UMA  
SUPERNOVA PODE  
OFUSCAR O BRILHO DE  
TODA A GALÁXIA DA  
QUAL FAZ PARTE.

solar enquanto sua gêmea seguiu para Urano.

A *Voyager 2* chegou em Urano e Netuno, respectivamente em 1986 e 1989, e não frustrou as boas expectativas realizando novas descobertas. Em Urano, encontrou dez novos satélites, confirmou seu sistema de anéis e enviou imagens detalhadas da superfície dos satélites Ariel, Titânia e Miranda e em Netuno também confirmou sistemas de anéis, descobriu seis novos satélites e detectou uma rarefeita atmosfera e alguns gêiseres em Tritão. Nesse período a sonda também observou a supernova 1987A – a mais brilhante supernova observada desde de 1604.

Em 1990, com treze anos de missão, as sondas gêmeas já tinham visitado os planetas Júpiter, Saturno, Urano (apenas a *Voyager 2*) e Netuno (apenas a *Voyager 2*); descoberto satélites e anéis em volta destes planetas, enviado detalhes das superfícies de vários outros satélites e observado uma espetacular supernova; colecionando descobertas e sucessos cumprindo com louvor tudo que se esperava delas. Mas se iniciava então, uma nova missão rumo ao desconhecido, a missão interestelar com o intuito de estudar a região limítrofe do sistema solar e chegar ao espaço interestelar.

Ao completar a sua missão inicial, a *Voyager 1* em fevereiro de 1990, virou para a Terra e a fotografou, fornecendo para a humanidade uma prova do quão pequenos somos todos nós, quando comparados ao Universo, foto esta, “batizada” por Carl Sagan como “Pálido Ponto Azul”. Oito anos depois a *Voyager 1* ultrapassou a sonda Pioneer e tornou-se o dispositivo humano enviado mais longe no espaço. Em 2004 e 2007, respectivamente, as *Voyager 1* e *2* cruzaram a terminação de *shock* e, em 2012, a *Voyager 1* entrou no espaço interestelar.

Que aventura! Digam se não deu vontade de estar com uma destas sondas, de ver o que viram e o que ainda irão ver. Estes objetos estão fazendo hoje o que as caravelas fizeram nas grandes navegações a 500 anos atrás, e, por falar nisso, onde estarão daqui a 500 anos? E a humanidade, já terá mandado astronautas para fora do sistema solar, descoberto novos mundos habitáveis e iniciado suas colonizações? É empolgante quando pensamos nessas possibilidades em futuros distantes, porém mais empolgante ainda é saber que hoje outras aventuras estão acontecendo e que podemos fazer parte delas acompanhando-as, compartilhando suas descobertas e, quem sabe, até mesmo elaborando ou participando das próximas.

## II. SISTEMA SOLAR

Acabamos de ver as façanhas realizadas pelas sondas gêmeas *Voyager* ao percorrer o sistema solar, deixá-lo para trás e seguir espaço afora. Mas o que é o nosso sistema solar, como e quando surgiu? Quais são os planetas e outros entes que o formam? A partir de agora, começaremos a responder estas perguntas, muitas das quais só puderam ser respondidas ou confirmadas através do trabalho das sondas espaciais.

---

### Formação do Sistema Solar

---

Por volta de 4,6 bilhões de anos atrás, num certo ponto do Universo, havia somente uma névoa de poeira e gás como tantas outras que hoje os astrônomos encontram universo afora. No entanto, nessa névoa e em todas as

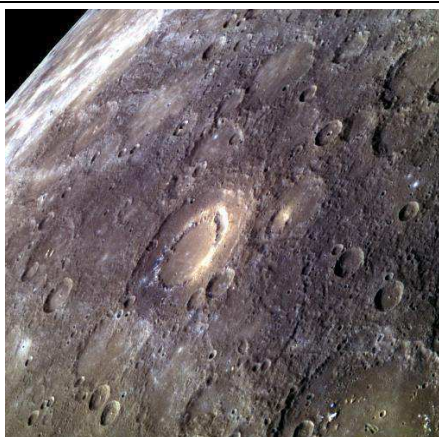
outras no universo, a gravidade (uma das quatro forças fundamentais) estava atuando, unindo grão a grão, partícula a partícula, e, ao longo de dezenas de milhões de anos, concentrou a maior parte de sua massa no centro. Com o acréscimo de mais e mais massa no centro, a turbulência era crescente fazendo o núcleo girar cada vez mais rápido levando o restante da nuvem a adquirir a forma de disco.

Quanto mais massa esse núcleo recebia, mais rápido girava e mais compacto ficava e, em consequência dessa compactação, aumentava de temperatura; esse processo prosseguiu até que a temperatura e pressões foram tais que o nosso Sol “acendeu”.

Nesse momento, as partes mais distantes do disco esfriavam a ponto de ocorrer solidificação da matéria e pequenos grãos de poeira surgiram, aglomeraram-se e colidiram uns com os outros formando corpos maiores, e maiores, e maiores... Surgiram, então, os planetas telúricos (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) formados a partir de compostos com ponto de fusão mais alto (metais e minerais), os planetas Jovianos ou gigantes gasosos (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) formados numa região onde os abundantes compostos voláteis de gelo encontravam-se sólidos, o cinturão de Kuiper, o cinturão de asteroides (entre Marte e Júpiter), os cometas e os planetas anões. E todos juntos, sob a influência gravitacional do Sol, formaram o **Sistema Solar**.

Esta teoria para a formação do sistema solar é conhecida como hipótese nebulosa e foi proposta por Kant em 1755 e depois, em 1796, pelo francês Pierre Simon de Laplace, desde então, vem sendo aperfeiçoada. Deste aperfeiçoamento deu-se a teoria nebulosa reformulada a mais aceita atualmente.

### Planetas, cometas e mais...



Superfície de Mercúrio (Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

**Mercúrio:** É o primeiro planeta a partir do Sol, por ser o mais rápido de todos a completar uma volta em torno do Sol (88 dias) recebeu o nome do mensageiro dos deuses. Por não apresentar atmosfera tem suas temperaturas variando de 430 °C, quando é dia, a – 170 °C, à noite. Seu dia tem uma duração de aproximadamente 59 dias terrestres, uma rotação muito lenta, a explicação está no fato de Mercúrio ter colidido há bilhões de anos com um grande corpo celeste o que freou sua rotação, outra consequência desse choque foi a perda de crosta e manto deixando-o com

### OUTRAS TEORIAS PARA FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR.

- **BUFFON (1749):**  
ORIGEM A PARTIR DO CHOQUE DE UM COMETA COM O SOL. DA CATÁSTROFE, UM FILAMENTO DE MATÉRIA EJETADO DO SOL TERIA ORIGINADO OS PLANETAS.
- **CHAMBERLAIN E MOULTON (1900):**  
ORIGEM A PARTIR DA APROXIMAÇÃO DE

seu tamanho atual (mais ou menos o tamanho de nossa Lua). A semelhança com a nossa Lua não está apenas no tamanho mas também na temperatura e na superfície repleta de crateras, de montanhas e vales.

**Vênus:** Segundo planeta do sistema solar, talvez por ser o mais brilhante dos planetas tenha recebido o nome da deusa romana do amor e da beleza, Vênus, sendo o único planeta a receber um nome feminino. A atmosfera de Vênus é extremamente densa o que oculta sua superfície, composta em pelo menos 95 % de gás carbônico, com uma pressão mais de 90 vezes superior à da terra e nuvens de ácido sulfúrico (cheiram a ovo podre) um composto extremamente corrosivo. Essa atmosfera espessa não permite que

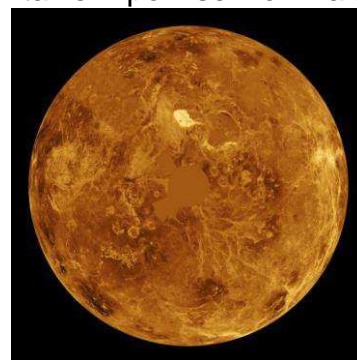


Imagem de radar de Vênus  
(Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

o calor escape provocando um extremo efeito estufa que o torna o planeta mais quente do sistema solar (temperaturas superiores a 464°C). Em Vênus, o ano tem duração de 225 dias e seu movimento de rotação é retrógrado e extremamente lento, tendo período de 243 dias terrestres. Uma supercolisão com um asteroide ou outro objeto grande no passado é a hipótese mais aceita para seu padrão rotacional.

Um fato curioso devido ao padrão rotacional de Vênus é o de que, em Vênus, veríamos o Sol nascer no oeste e se pôr no leste; também devido à rotação retrógrada o intervalo de tempo entre o nascer e o pôr do Sol é de 117 dias. E ainda, a lentidão na rotação impossibilita que o núcleo metálico de Vênus gere um campo magnético.

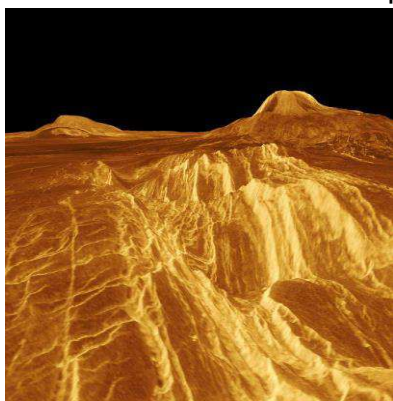


Imagem 3D dos vulcões Sif Mons e  
em Vênus

**ESPECULA-SE QUE VÊNUS JÁ TENHA SIDO PARECIDO COM A TERRA, PORÉM SEUS OCEANOS SECARAM E A TEMPERATURA AUMENTOU MAIS E MAIS. A GRANDE QUANTIDADE DE CO<sub>2</sub> NA ATMOSFERA INICIOU UM CICLO DE AQUECIMENTO TORNANDO-O CADA VEZ MAIS QUENTE ATÉ SE TRANSFORMAR**

principalmente por nitrogênio, N<sub>2</sub>, e oxigênio, O<sub>2</sub>, correspondendo a 78 % e 21 %, respectivamente, de seu volume. No 1 % restante encontramos o gás nobre argônio, vapor d'água, H<sub>2</sub>O, ozônio, O<sub>3</sub>, dióxido de carbono (gás carbônico), CO<sub>2</sub>, e metano, CH<sub>4</sub>. Estes últimos (CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>), são os principais

A superfície de Vênus, completamente mapeada pela sonda Magalhães em 1993, não apresenta água na forma líquida, é, em sua grande maioria formada por planícies, tem mais de 1600 vulcões os quais provocaram a formação de longos canais com os rios de lava advindos desses vulcões e seis regiões montanhosas que cobrem quase um terço do planeta. Na superfície venusiana também são encontradas fraturas, com formas só vistas lá, com quilômetros de extensão – as *coronae*, *novae* e *aracnoides*.

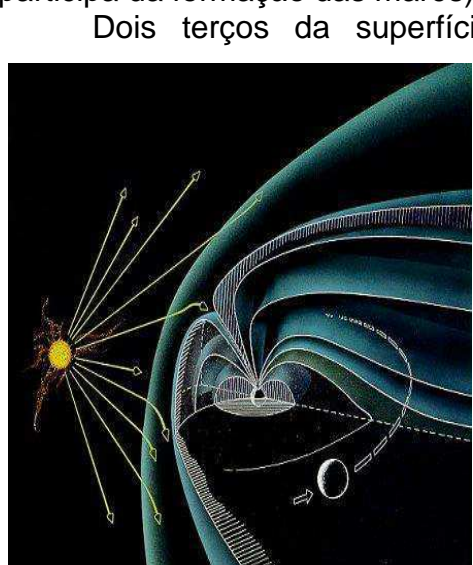
**Terra:** Terceiro planeta do sistema solar, e, pelos conhecimentos atuais, o único a hospedar vida – o nosso lar. Sua atmosfera é composta



Foto da Terra e Lua, num mesmo quadro, tirada pela Voyager1 (Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

causadores do efeito estufa e o aumento em suas emissões contribui para o aquecimento global, **"lembrem-se de Vênus"**.

A Terra é o primeiro planeta a partir do Sol com satélite natural – nossa bela Lua. A importância da Lua não se resume a sua beleza, sua interação gravitacional com a Terra é a responsável pela diminuição da velocidade de rotação terrestre que hoje é de 23 horas e 56 minutos, mas que já foi de cerca de 5 horas nos primórdios da Terra. No entanto, o efeito mais importante promovido pela Lua na evolução terrestre foi a estabilização da inclinação do eixo de rotação terrestre imprescindível para a permanência de um clima moderado e adequado à vida. Outras consequências da interação Terra-Lua são a reflexão da luz solar e o efeito de maré nos oceanos (o Sol também participa da formação das marés) ambos, mais interessantes, que relevantes.



Representação da magnetosfera terrestre  
(<http://history.nasa.gov/>)

Dois terços da superfície do planeta Terra é coberta por água componente fundamental para o surgimento da vida, porém não se tem certeza de onde veio toda essa água já que a água possivelmente presente no período de formação do planeta teria evaporado devido às altas temperaturas da época. Como não existe explicação para a formação de água em nosso planeta, os cientistas sustentam a hipótese de que a água que forma nossos oceanos foi trazida depois que a Terra esfriou, acreditava-se que os cometas tinham sido os responsáveis por tal feito. No entanto, medições feitas em cometas indicam águas distintas da que temos em

nossos oceanos; a mais recente destas medições, realizada pela sonda Rosetta na

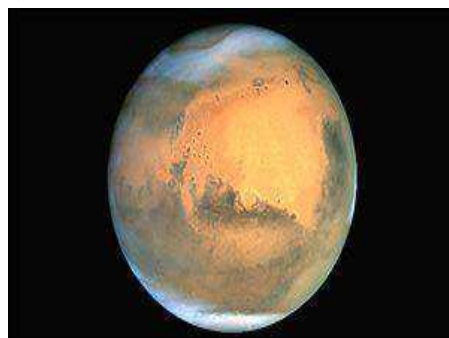
água do cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, também encontrou uma água distinta da que temos aqui em nosso planeta. Sobrou, então, para os asteroides, a responsabilidade pelo fornecimento da nossa água. Nosso lar é realmente especial, não estamos nem muito longe nem muito perto do Sol, temos uma atmosfera com CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em quantidades ideais para segurar o calor necessário à vida (pelo menos por enquanto), inclinação do eixo de rotação adequado e água abundante. Mas essas condições de nada adiantariam se não tivéssemos nosso campo magnético protegendo-nos do vento solar. O campo magnético é produzido no núcleo



Curiosity, veículo destinado a explorar a superfície de Marte

exterior da Terra (transformando-a em um grande ímã) formando a magnetosfera, uma região que funciona como escudo para as

partículas carregadas que vêm do Sol.



Marte em imagem capturada pelo telescópio espacial Hubble (Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

**Marte:** Quarto planeta a partir do Sol. Com aproximadamente metade do diâmetro da Terra, o planeta vermelho é o único do

sistema solar com características semelhantes às da Terra: uma atmosfera rarefeita, apresentando nitrogênio, N<sub>2</sub>, argônio, oxigênio, O<sub>2</sub>, e gás carbônico, CO<sub>2</sub>, um solo de composição parecida com o solo terrestre, tem água em seu subsolo, o dia durando pouco mais de 24 horas e seu período de translação é de 687 dias; devido à sua cor vermelha (abundância de óxido de ferro em sua superfície) recebeu o nome do deus romano da guerra e possui duas luas pequenas, Deimos (“terror”, em grego) e Fobos (“medo”, em grego), sua distância à Terra varia de cerca de duas vezes a distância da Terra ao Sol (300 000 000 km) a um terço dessa distância (56 000 000 km). Em Marte, o campo magnético não existe há bilhões de anos.

A superfície de Marte apresenta inúmeras crateras, campos de neve carbônica, vales e dunas de areia. Em Marte está localizado o maior vulcão do sistema solar, o Monte Olimpo, com uma altura equivalente a mais de três Montes Everest empilhados (cerca de 25 km) – o Monte Olimpo está inativo.

Por ser o planeta mais propício a vida, depois da Terra, é claro, Marte foi e continua sendo alvo de inúmeras missões espaciais (em 2015, completamos 50 anos de missões à Marte) nos levando a uma compreensão cada vez maior do nosso vizinho no sistema solar.

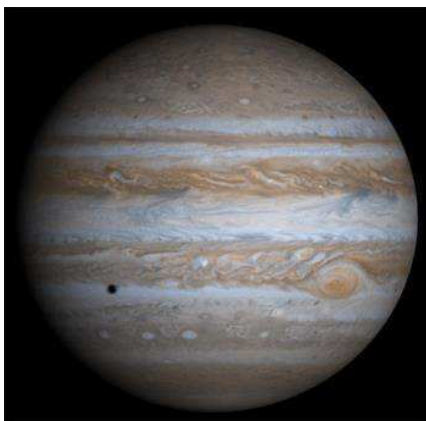
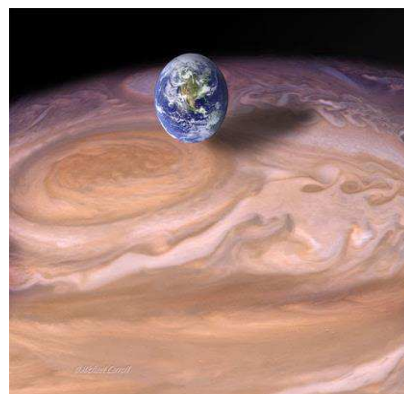


Imagem capturada pelo telescópio espacial Hubble do planeta Júpiter (Nasa).

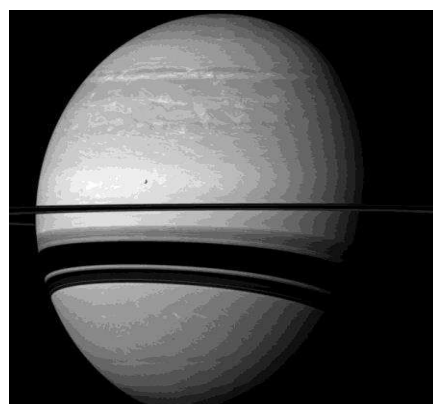
**Júpiter:** Maior planeta do sistema solar, quinto a partir do Sol e o primeiro dos planetas gasosos – jovianos. Não foi por acaso que recebeu o nome da maior



Comparação entre a grande mancha vermelha e a Terra (Créditos: Michael

divindade romana (o correspondente para os gregos, seria Zeus), pois tudo é grandioso quando se fala de Júpiter: possui cerca de 2,5 vezes a massa de todos os outros planetas juntos, ao sul de seu equador está a grande mancha vermelha uma tempestade com tamanho superior a duas vezes o tamanho da Terra que já dura, pelo menos 400 anos, seu campo magnético é imenso estendendo-se até próximo da órbita de Saturno, possui um tênue anel e 67 luas, destacando-se as luas galileanas: Europa com um oceano sob sua superfície congelada (considerado o local de maior probabilidade de conter vida no sistema solar), Io, Calixto e Ganimedes, a maior lua do sistema solar (em Ganimedes temos 70 vezes mais água que em todos os oceanos da Terra).

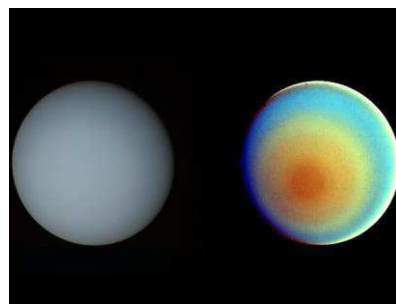
**Saturno:** Segundo maior planeta do sistema solar, sexto a partir do Sol e o segundo dos planetas gasosos. Recebeu o nome do pai de Júpiter, talvez por estar mais longe da Terra que Júpiter. Muito do que se sabe a respeito de Saturno deve-se a sonda Voyager 1, sua característica principal, que o distingue dos demais planetas é seu vasto sistema de anéis de fácil



Saturno e Tétis, uma de suas luas, em imagem da sonda Cassini (Nasa).

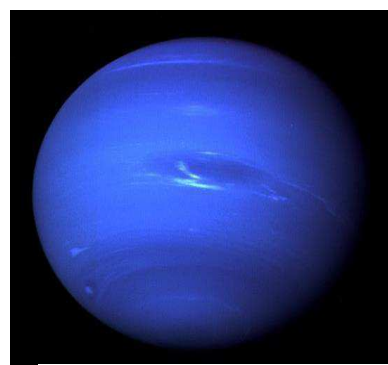
visualização (Júpiter, Urano e Netuno também possuem anéis) que por apresentarem uma grande quantidade de água no estado sólido (indo desde pequenos cristais de gelo até blocos de alguns metros de diâmetro) refletem a luz do Sol. Até onde se sabe, Saturno possui 56 luas.

**Urano:** Sétimo planeta a partir do Sol e primeiro descoberto pela astronomia moderna (descoberto em 1781 pelo astrônomo inglês William Herschel), seu nome é uma homenagem ao deus grego do céu. Possui 27 luas e anéis que lembram os de Saturno, porém muito tênues. Sua atmosfera composta primordialmente de hidrogênio e hélio é a mais fria de todos os planetas do sistema solar podendo chegar a 49 K, cerca de  $-224\text{ °C}$ . Só para comparar, a menor temperatura já registrada na superfície da Terra foi de cerca de  $-89\text{ °C}$  no ano de 1983 na estação russa de Vostok na Antártida, uma das regiões mais inóspitas de nosso planeta.



Urano em cor verdadeira e falsa, foto da Voyager 2 em janeiro de 1986 (Nasa).

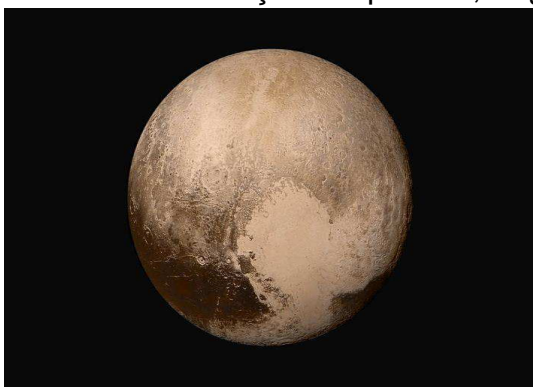
**Netuno:** Oitavo planeta a partir do Sol, segundo descoberto pela astronomia moderna e o primeiro descoberto a partir de cálculos, antes mesmo de ser visualizado. Recebeu o nome do deus romano dos mares devido à sua cor azul, possui 13 luas conhecidas sendo a maior Tritão, sua atmosfera é composta de hidrogênio, hélio, metano e amoníaco; apresenta características marcantes como a Grande Mancha Escura, a Pequena Mancha Escura e a Patineta.



Netuno, em imagem da Voyager 2. (Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

**Planeta anão Plutão:** Em 24 de agosto de 2006, a União Astronômica Internacional (IAU, sigla em inglês) aprovou resolução alterando a definição de planeta, segundo a nova definição um planeta é um corpo celeste que:

- a) está em órbita ao redor do Sol;
  - b) tem massa suficiente para apresentar forma arredondada, devido ao equilíbrio hidrostático;
  - c) está sozinho na região de sua órbita.
- Desta forma, por não apresentar órbita livre de outros corpos (cláusula “c”), Plutão não satisfaz todas as exigências para ser o nono planeta do sistema solar, sendo reclassificado como



Plutão, imagem da sonda New Horizons (Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

“**planeta anão**”. Uma das causas de ter sido revista a definição de planeta, foi a descoberta de vários corpos de tamanho aproximadamente igual ou maiores que Plutão, no sistema solar. Em 14 de julho de 2015, a sonda New Horizons sobrevoou a superfície de

PLANETAS ANÕES DO SISTEMA SOLAR: PLUTÃO (ATÉ 2006, AINDA ERA CONSIDERADO PLANETA QUANDO FOI “REBAIXADO”

Plutão, com o objetivo de caracterizar a geologia e a morfologia de Plutão e suas luas. Dentre outras descobertas a sonda constatou que Plutão é um pouco maior do que se pensava, apresenta cadeias montanhosas e vastas planícies geladas, vapores na atmosfera e sinais de movimento de nitrogênio e metano congelados em sua superfície. Com as

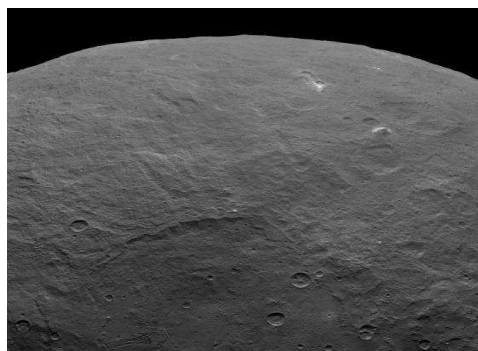


Imagem capturada pela nave Dawn, onde se vê uma montanha no canto superior direito do planeta anão Ceres, Junho de 2015. (Nasa).

recentes descobertas, é possível sugerir que Plutão tenha um núcleo mais denso envolto por uma espessa camada de gelo aumentando a possibilidade da existência de um oceano líquido sob o gelo.

**Cinturão de asteroides ou cintura de asteroides ou cintura interna de asteroides:** Região do sistema solar localizada entre as órbitas de Marte e Júpiter com inúmeros corpos rochosos e metálicos de formas irregulares – os **asteroides**. Pertencem ao cinturão de asteroides, o planeta anão Ceres, o maior objeto do cinturão, Pallas, Vesta e Hígia.

**Cinturão ou cintura de Kuiper e disco disperso:** Situados em uma região entre 30 UA e 50 UA de distância do Sol com muitos objetos celestes, a saber: planetas anões, asteroides e cometas.

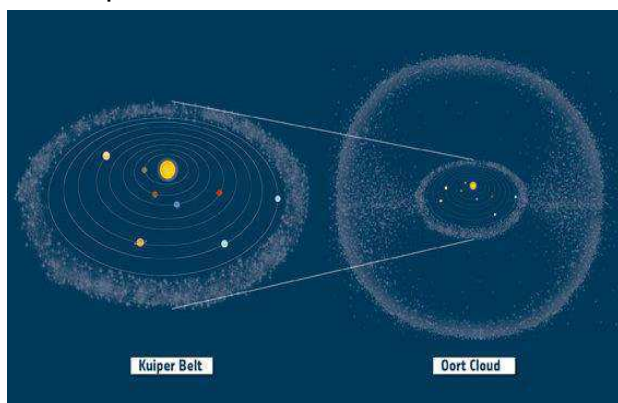


Ilustração contendo cinturão de Kuiper e nuvem de Oort (ESA. [www.esa.int/ESA](http://www.esa.int/ESA))

mais famoso dos cometas, o cometa Halley, sempre desencadeou mortes ao longo da História “levando a culpa” por tudo de ruim que estivesse acontecendo quando de sua passagem – a peste bubônica e o incêndio de Londres são alguns exemplos.

Com relação aos seus períodos, os cometas foram divididos em três categorias: os de curto período, que completam uma volta em torno do Sol em até 20 anos; os de médio período que gastam de 20 anos a 200 anos e vindos, em geral, do cinturão de Kuiper, e os de longo período que necessitam de mais de 200 anos para completar uma volta em torno do Sol e vindos, em geral, da nuvem de Oort (região 100 mil vezes mais afastada do Sol que a

**Cometas:** Pequenos corpos de gelo e rocha que orbitam o Sol em longas e excêntricas trajetórias. À medida que se aproximam do Sol, seu gelo começa a sublimar (passar de sólido para gás) formando a coma e sua cauda, tornando-o bem visível para quem está na Terra. Os espetáculos proporcionados por sua passagem, no passado, traziam terror e preocupação para os habitantes de nosso planeta. O



Módulo pousador Philae. (ESA. [www.esa.int/ESA](http://www.esa.int/ESA))



Terra).

Mais recentemente, o cometa que vem atraindo a atenção dos cientistas é o 67P/Churyumov-Gerasimenko, alvo da sonda Rosetta que tinha como missão orbitar e pousar no cometa. A missão da sonda Rosetta foi cumprida com êxito em 12 de novembro de 2014, quando seu módulo pousador Philae separou-se da nave e pousou no cometa.

Tabela 1: Algumas características dos planetas do sistema solar.

	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Uranus	Netuno
Diâmetro equatorial (km)	4878	12100	12756	6786	142984	120536	51108	49538
Massa ( $M_{Terra}$ )	0,055	0,815	1	0,107	317,9	95,2	14,6	17,2
Distância média Ao Sol ( $10^6$ km)	57,9	108,2	149,6	227,9	778,4	1423,6	2867	4488
Excentricidade da órbita	0,206	0,0068	0,0167	0,093	0,048	0,056	0,046	0,010
Translação	87,9 d	224,7 d	365,25 d	686,98 d	11,86 a	29,46 a	84,04 a	164,8 a
Rotação	58,6 d	243 d*	23h56min	24h37min	9h48min	10h12min	17h54min*	19h6min
Massa (kg)	$3,30 \times 10^{23}$	$4,87 \times 10^{24}$	$5,97 \times 10^{24}$	$6,42 \times 10^{23}$	$1,90 \times 10^{27}$	$5,69 \times 10^{26}$	$8,70 \times 10^{25}$	$1,03 \times 10^{26}$
Densidade ( $g/cm^3$ )	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,3	1,6
Aceleração da Gravidade ( $g_{Terra}$ )	0,37	0,88	1	0,38	2,64	1,15	1,17	1,18
Satélites naturais	0	0	1	2	67	56	27	14

\* = Rotação retrógrada, d = dias e a = anos.

### Unidades de medida de comprimento usadas na astronomia



Quando estamos interessados nas distâncias entre os planetas do sistema solar e o Sol, das dimensões do sistema solar e de nossa galáxia, da distância entre estrelas, e da distância entre galáxias, torna-se inviável o uso da unidade de comprimento quilômetro (km), tão familiar para nós no cotidiano. Para termos uma noção de como é inadequada esta unidade, imagine só se tivéssemos que informar as dimensões de um terreno na cidade em milímetros, a distância entre cidades e países em centímetros e a circunferência de nosso planeta em metros. Imaginou? “Problemão”, não? Seria o mesmo, se utilizássemos o quilômetro para as distâncias envolvidas na astronomia. Como solução para este problema, outras unidades de comprimento mais adequadas às grandes distâncias encontradas no universo, foram definidas para uso na astronomia.

### Unidade Astronômica

**(UA):** Tem como padrão a distância média da Terra ao Sol, aproximadamente 150 000 000 km.

1 UA = 149 597 870 700 m



1 UA = 149 597 870 700 m

Tamanhos e distâncias fora de escala.

Tabela 2: Distância, em unidades astronômicas, dos planetas ao Sol.

Planeta	Distância ao Sol (UA)
Mercúrio	0,4
Vênus	0,7
Terra	1,0
Marte	1,5
Júpiter	5,2
Saturno	9,5
Urano	19
Netuno	30

**Ano-luz (al):** Corresponde à **distância** percorrida pela luz, no vácuo, em um ano. O cálculo do valor correspondente a um ano-luz é simples, como a velocidade da luz (**c**), no vácuo, é igual a aproximadamente 300 000 km/s multiplica-se este valor pela quantidade de segundos em um ano, **faça você mesmo!**

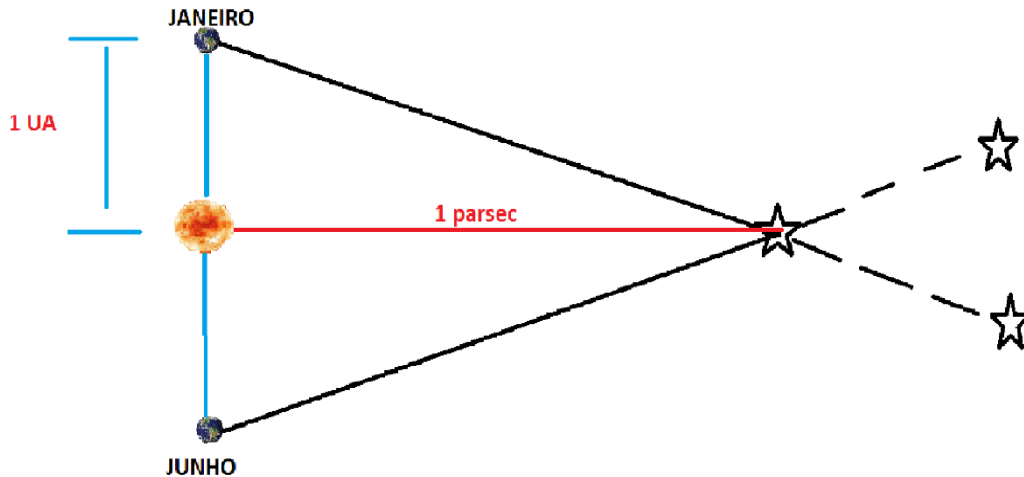
1 ano-luz =  $9,4605284 \times 10^{15}$  m

**Parsec (pc):** Antes de definirmos Parsec precisamos definir paralaxe, ou seja, a mudança aparente da posição de um objeto devido ao movimento do observador. Vamos usar uma analogia para entender melhor. Escolha um ponto fixo, um armador de redes na parede, por exemplo; cubra seu olho esquerdo e estenda seu braço com o dedo indicador levantando-o de maneira a cobrir o armador, em seguida, descubra o olho esquerdo e cubra o direito.

Você terá a impressão de que o armador mudou de lugar, a isso damos o nome de paralaxe.

Voltemos ao parsec. Um Parsec corresponde à distância cuja paralaxe anual média vale um segundo de arco (1").

$$1 \text{ Parsec} = 3,08567758 \times 10^{16} \text{ m}$$



Tamanhos e distâncias fora de escala.

## Você, astrônomo!

### Planetas observáveis a olho nu, como vê-los?

**Mercúrio:** Apesar de sua proximidade da Terra, sua observação não é tão fácil pois também está bem próximo do Sol.

#### Onde procurar?

Você deve olhar para próximo do horizonte um pouco antes do nascer do Sol ou um pouco depois do pôr do Sol (**nunca olhe para o Sol**).

#### Qual a melhor época e/ou horário?

Quando Mercúrio atinge sua máxima

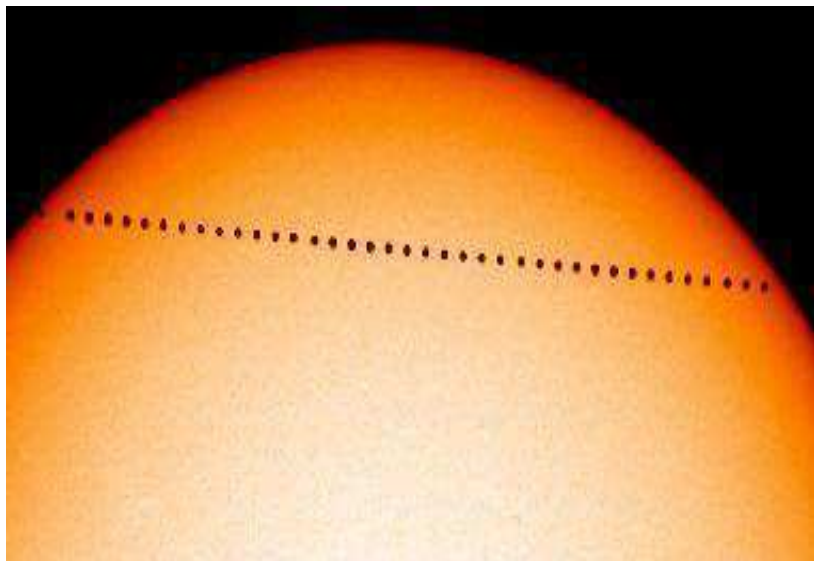


Foto montagem de trânsito de Mercúrio (sohowww.nascom.nasa.gov)

elongação (quando parece estar visualmente mais afastado do Sol); caso tenha sucesso, Mercúrio aparentará ser uma estrela cintilante de brilho considerável.

Com o uso de telescópio é possível ver parte do globo iluminado, já que estando localizado entre a Terra e o Sol, Mercúrio apresenta fases (assim como a Lua); quando passa em frente do disco solar temos um trânsito de Mercúrio – um pequeno eclipse, por assim dizer.

**Vênus:** É o objeto mais brilhante no céu, depois do Sol e da Lua, assim como Mercúrio, também se apresenta em fases (por estar entre a Terra e o Sol) e não é possível vê-lo cheio.

**Onde procurar?** Junto ao horizonte.



Foto: Reprodução/Física na veia

### **Qual a melhor época e/ou horário?**

O melhor momento para sua observação acontece ao anoitecer ou ao amanhecer e com o auxílio de binóculos ou telescópios pode-se identificar sua fase.

**Marte:** Aparenta ser uma estrela avermelhada.

### **Onde procurar?**

Na eclíptica, caminho seguido pelo Sol ao longo do ano.

### **Qual a melhor época e/ou horário?**

Quando estiver próximo de uma conjunção com o Sol.

**Júpiter:** Dos planetas observáveis a olho nu, é o que mais aparenta ser mesmo um planeta por apresentar a forma de um disco.

### **Onde procurar?**

Posiciona-se numa diferente constelação do zodíaco a cada ano (consulte um mapa estelar) e, com um pequeno telescópio, ainda é possível observar suas maiores luas: Io, Ganymedes, Calisto e Europa.

### **Qual a melhor época e/ou horário?**

É visível por quase todo o ano à noite e, às vezes, no amanhecer e anoitecer.

**Saturno:** Apresenta-se como uma estrela de brilho durável e constante, e sua observação só é possível em certo período de cada ano, quando a Terra passa entre ele e o Sol.

### **Onde procurar?**

Não basta olhar para o céu, descubra seu percurso (consulte um mapa estelar) para saber quando passará perto de alguma constelação conhecida.

### **Qual a melhor época e/ou horário?**

A melhor época ocorre quando Saturno está em oposição ao Sol (mais perto da Terra).

**Urano:** Muitos pensam que somente os planetas Mercúrio, Vênus, Marte,



Imagem produzida a partir do software Stellarium

Júpiter e Saturno, são visíveis a olho nu, mas em condições excepcionais também é possível a visualização de Urano.

#### **Onde procurar?**

Descubra seu trajeto através de um mapa estelar.

#### **Qual a melhor época e/ou horário?**

Quando está em seu perigeu (menor distância ao Sol) e em oposição ao Sol, é visível a noite toda.

## **I. CONCEITOS BÁSICOS DE CINEMÁTICA ESCALAR**

Iniciamos nosso curso acompanhando a jornada das sondas gêmeas Voyager, de onde partiram, quando partiram e por onde passaram ao longo do tempo de duração de sua viagem - já são mais de 38 anos. Na Física, quando acompanhamos/estudamos o movimento dos corpos sem a preocupação com as causas desse movimento, ou seja, apenas descrevendo-o “entramos” na **Cinemática**.

### **Referencial**

Para estudar o movimento de um corpo é fundamental que saibamos onde ele está, que o localizemos, e para tal nos utilizamos de um outro corpo ou conjunto de corpos (as estrelas fixas, por exemplo) a partir do qual encontraremos sua posição. A este corpo, ou conjunto de corpos, damos o nome de **referencial**.

**Referencial é um corpo ou conjunto de corpos tomados como referência para determinação da posição de um corpo.**

A partir do referencial e com o uso, por exemplo, de um sistema de eixos coordenados ortogonais definimos a **posição** do corpo em estudo, que é dada pelas coordenadas do corpo nesse sistema de eixos. As coordenadas são distâncias (medidas de comprimento) ao longo dos eixos, sendo, então, expressas por unidades de medida de comprimento.

Em quase todo o mundo usa-se o Sistema Internacional de Unidades, SI, um sistema decimal com sete unidades básicas, cuja finalidade é uniformizar e facilitar as medições. A unidade de medida de comprimento no Sistema Internacional é o **metro (m)**.

Ao estudarmos o movimento de um corpo (chamado, em geral, de **móvel**) cujo tamanho não é relevante, em comparação com as distâncias envolvidas como, por exemplo, no estudo da viagem de uma sonda espaço afora, esse corpo ou móvel recebe o nome de **ponto material**; porém para acoplar um ônibus espacial na Estação Espacial Internacional (ISS, sigla em inglês) suas dimensões são relevantes sendo essencial conhecê-las para evitar acidentes; nesse caso o móvel é denominado de **corpo extenso**.

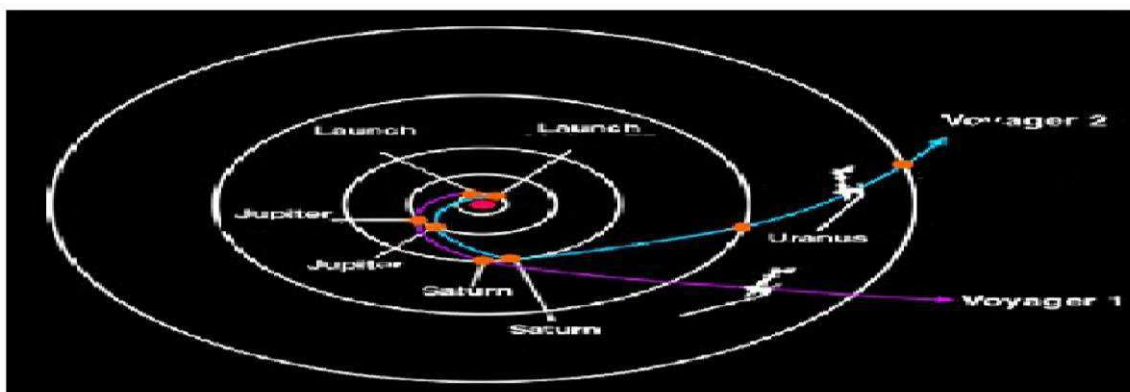
Ponto material é aquele móvel cujas dimensões são desprezíveis quando comparadas às distâncias envolvidas no seu movimento.

---

## Tempo

---

Todos os dias quando acordo não tenho mais o tempo que passou. Mas tenho muito tempo, temos todo tempo do mundo, me diz mais uma vez que já estamos distantes de tudo. Somos tão jovens. (Renato Russo)



Em sua jornada, as sondas Voyager são consideradas pontos materiais (adaptado de Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/)).

O que é o tempo? Difícil responder, não é? Mas não deixamos de perceber a sua passagem pois toda manhã o Sol nasce mostrando-nos que mais um dia se passou e outro começa, todo ano comemoramos nosso aniversário e percebemos que mais um ano se foi. Os acontecimentos nos indicam a passagem do tempo e na Física, também olhamos para os acontecimentos, melhor falando, **eventos**, quando tratamos da grandeza tempo.

Aquele tempo contado a partir de um momento inicial  $t_0$  (origem dos tempos), que indica a ocorrência de um evento, chamamos de **instante**,  $t$ ; a unidade SI, para tempo é o

OS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA,  
MAIOR POTÊNCIA MUNDIAL, É UMA DAS  
RARÍSSIMAS EXCEÇÕES QUE NÃO  
ADOTAM, DE FORMA PREDOMINANTE, O  
SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES  
(SI).

segundo (s). O momento em que a sonda *Voyager 2* foi lançada (evento), corresponde a um instante.

No entanto, quando nos referimos a um tempo decorrido entre dois eventos, temos um **intervalo de tempo**,  $\Delta t$  (lê-se delta t); seu valor é calculado subtraindo o instante em que ocorreu o primeiro evento (instante inicial,  $t_1$ ) do instante em que ocorreu o segundo evento (instante final,  $t_2$ ):

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

O tempo transcorrido entre o instante de lançamento da *Voyager 2* e o instante que esta mandou sua primeira imagem de Júpiter, é um exemplo de intervalo de tempo.

Lembre-se:

**1 min = 60 s**

**1 h = 60 min = 3600 s**

**1 dia = 24 h = 1440 min = 86 400 s**

### Movimento

Estamos estudando o movimento, mas quando um corpo está em movimento? Para responder a esta pergunta devemos olhar para a posição do corpo no decorrer do tempo; se a posição está mudando com o passar do tempo temos **movimento**, caso contrário, **repouso**. Não podemos esquecer que posição depende do referencial escolhido, logo movimento também depende do referencial. Um corpo, por exemplo, pode estar em movimento em relação a um determinado referencial e em repouso em relação a outro referencial. Um estudante sentado à sua mesa está em repouso em relação a ela (em relação à superfície da Terra) porém está em movimento em relação ao Sol que, por sua vez, está em movimento em relação ao centro da galáxia.

Um ponto material está em movimento, em relação a um dado referencial, quando sua posição muda no decorrer do tempo em relação a esse referencial.

### Trajatória

Um ponto material em movimento ocupa sucessivas posições ao longo do tempo; a linha formada por estas sucessivas posições é a sua **trajetória**, caso o ponto material esteja em repouso a trajetória reduz-se a um ponto. A trajetória de um móvel também depende do referencial escolhido podendo mudar de forma ao mudarmos o referencial.

Trajetória é a linha formada, em relação a um dado referencial, pelas sucessivas posições ocupadas pelo ponto material.

### Posição (x)

Como foi dito anteriormente, a posição de uma partícula (ponto material) é definida por suas coordenadas no sistema ortogonal associado ao referencial escolhido. No entanto, em algumas situações já sabemos de antemão a trajetória que será percorrida pela partícula, como, por exemplo, ao estudarmos

o movimento de um carro sobre uma rodovia conhecida. Nesse caso, poderemos reduzir o movimento a uma dimensão (sobre uma linha) e definir a posição da partícula em relação à sua própria trajetória. Para tal, escolhamos sobre a trajetória um ponto arbitrário, **O**, a partir do qual mediremos as posições; já que podemos medir uma mesma distância, a partir de **O** em dois sentidos, escolhamos arbitrariamente uma orientação para a trajetória, desse modo distâncias medidas a partir de **O** e, no mesmo sentido de orientação da trajetória, corresponderão a posições positivas enquanto que aquelas feitas, a partir de **O** e, em sentido contrário, corresponderão às posições negativas.

A posição do ponto material medida na sua própria trajetória, a partir de um ponto na trajetória, **O** (origem), será positiva se medida a partir de **O** e seguindo a orientação dada à trajetória e negativa em caso contrário.

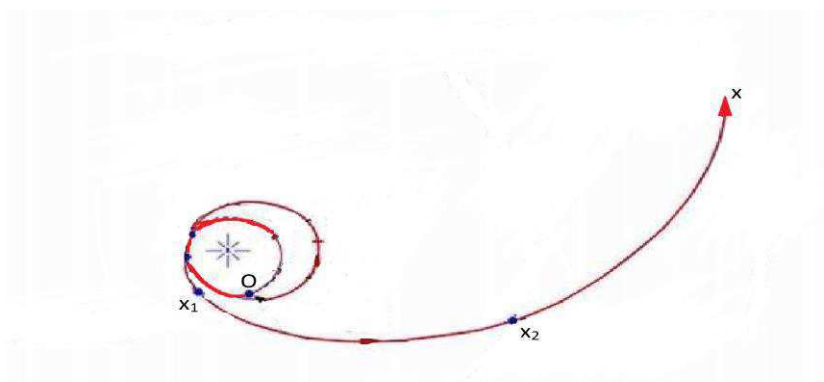
A posição é uma medida de comprimento e, como mencionado anteriormente, no Sistema Internacional de Unidades a unidade de medida de comprimento é o metro (m), logo:

$$\text{unid SI (x)} = \text{m}$$

Na figura abaixo, representamos a trajetória seguida pela sonda Cassini (ponto material), com origem em **O**, Terra; na qual, no instante  $t_1$ , apresenta posição  $x_1$  e, no instante  $t_2$ , apresenta a posição  $x_2$ .

O ponto material, no trecho considerado, tem um **deslocamento**,  $\Delta x$  (lê-se delta x), dado por:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$



Trajetória da sonda Cassini (em vermelho) desde seu lançamento até seu encontro com Saturno em julho de 2004 (<http://www.ciencia-cultura.com/astrologia>).

Deslocamento,  $\Delta x$ , corresponde à variação na posição de um móvel sendo dado pela diferença entre suas posições inicial e final:

$$\Delta x = x_f - x_i$$

Como encontramos o deslocamento a partir da diferença entre duas posições que são medidas em unidades de medida comprimento, o



deslocamento também será medido em unidades de medida de comprimento, logo:

$$\text{unid SI } (\Delta x) = \text{ m}$$

**Note que:**

- **Se  $x_1 = x_2$  então  $\Delta x = 0$ .**
- **Se  $x_1 < x_2$  então  $\Delta x > 0$ .**
- **Se  $x_1 > x_2$  então  $\Delta x < 0$ .**

Em muitas situações estamos interessados em quanto, efetivamente, a partícula percorreu ao longo da trajetória, ou seja, em sua **distância percorrida**,  $d$ . Nesse caso devemos atentar para o “histórico” de seu deslocamento:

Se seu deslocamento ocorreu sempre no mesmo sentido teremos:

$$d = |\Delta x|$$

Se, em seu deslocamento, ocorreu inversão no sentido do deslocamento (durante um intervalo da viagem, indo, e, em outro intervalo, voltando) teremos:

$$d = |\Delta x_{\text{ida}}| + |\Delta x_{\text{volta}}|$$

A distância percorrida,  $d$ , indica quanto efetivamente o ponto material percorreu no seu deslocamento

## Leitura Complementar

### Carl Sagan: Estudioso e divulgador da Astronomia

CARL EDWARD SAGAN, Astrônomo e Biólogo, nasceu em New York, Estados Unidos, em 9 de novembro de 1934. Em 1960, obteve o título de doutor pela Universidade de Chicago. Dedicou-se à pesquisa e à divulgação da Astronomia. Em 1968, foi para a Universidade de Cornell, onde dirigiu o Laboratório de Pesquisas Planetárias. Sagan interessava-se pela pesquisa de vida extraterrestre, razão pela qual desenvolveu trabalhos voltados à escuta de sinais vindos do espaço cósmico. Em entrevista à Revista Veja (27 de março de 1996), Carl Sagan diz que as antenas de rádio da Universidade da Califórnia em Berkeley captaram, ao longo de alguns anos, 30 milhões de sinais intrigantes, e que depois de minuciosa seleção sobraram 164 transmissões classificadas como “misteriosas”. Suas fontes não puderam ser identificadas, faltando para os cientistas aquilo que é essencial em ciência, que é a reprodução do fenômeno. “Sem que os sinais se repitam, não podemos considerá-los”, disse o astrônomo. Nesta linha de pesquisa, porém, sempre defendeu a necessidade da promoção do pensamento crítico e racional, sem misticismos. Chefiou as expedições das sondas americanas Mariner e Viking, pioneiras na exploração do sistema solar e foi incentivador dos grandes projetos de rastreamento do cosmos em busca de sinais de alienígenas, pois acreditava que as chances da humanidade captar algum sinal desta natureza aumentam a cada ano com o barateamento e o refinamento das tecnologias. Carl Sagan tinha uma habilidade enorme para comunicar idéias complexas de modo simples, o que lhe permitiu editar, dentre outros, o livro “Cosmos” e logo depois a série televisiva com o mesmo nome, voltada para o grande público. Foi o

inspirador de muitos astrônomos jovens. Sagan era brilhante em suas idéias. Numa conferência, era capaz de discutir detalhes sobre moléculas orgânicas e a origem da vida, ou lançar uma discussão sobre política. Parecia entender de tudo. Representou um papel significativo no programa espacial americano desde o seu começo. Foi consultor e conselheiro da NASA desde os anos 50, trabalhou com os astronautas do Projeto Apollo antes de suas idas à Lua, como ainda participou dos projetos da Mariner, Viking, Voyager, e das missões da sonda Galileo. Fez estudos que ajudaram a entender os mistérios das altas temperaturas de Vênus, as mudanças sazonais de Marte e a névoa avermelhada de Titã (satélite de Saturno), que deve possuir moléculas orgânicas complexas. Por seu trabalho, recebeu numerosos prêmios de reconhecimento, inclusive o prêmio mais alto da Academia Nacional de Ciências. Foi eleito presidente da Divisão de Ciências da Sociedade Astronômica americana, presidente da Seção de Planetologia da União Geofísica americana e presidente da Seção de Astronomia da Associação americana para o avanço da ciência. Juntamente com o Astrônomo Frank Drake, foi também editor, por 12 anos, da revista Icarus. Foi co-fundador e presidente da Sociedade Planetária e ainda Cientista Visitante Distinto no Laboratório de jato-propulsão da NASA. Recebeu 22 títulos honoris causa de universidades americanas. Seu último livro foi “O Mundo Assombrado Pelos Demônios – a ciência vista como uma vela no escuro”, já lançado no Brasil, no qual demonstra nítida preocupação com o espaço cada vez maior ocupado, nos meios de comunicação, pelas explicações pseudo-científicas e místicas. Carl Sagan morreu no dia 20 de dezembro de 1996 no Centro de Pesquisas do Câncer Fred Hutchinson, em Seattle, Estados Unidos, depois de uma batalha de 2 anos com grave doença na medula óssea. Ele já havia recebido um transplante de medula em abril de 1995. Sagan sempre será lembrado como um gigante da Astronomia mundial. O mundo da Astronomia ficou um pouco mais pobre, mas o céu, sem dúvida alguma, ganhou mais uma estrela. .  
(Paulo Araújo Duarte. Professor de Astronomia do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina).

## I. RESUMO

- De acordo com a hipótese nebular reformulada (teoria mais aceita hoje) a formação do sistema solar se deu de uma nuvem de poeira e gás por volta de 4,6 bilhões de anos atrás.
- Outras teorias para a formação do sistema solar: teoria de Buffon, origem a partir de choque de cometa com o Sol, e teoria de Chamberlain e Moulton, origem a partir da aproximação de outra estrela ao Sol.
- Nosso sistema solar é constituído por oito planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), o Sol, planetas anões (Plutão, Éris, Ceres, Haumea e Makemake), cometas e uma infinidade de meteoros.
- Os planetas mais próximos do Sol, Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, são chamados de telúricos (rochosos) enquanto que Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, mais distantes do Sol e bem maiores que os telúricos, são chamados de planetas jovianos (gasosos).
- Unidades de medida de comprimento usadas na astronomia: unidade astronômica (UA), ano-luz (al) e parsec (pc).

$$1 \text{ UA} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

$$1 \text{ ano-luz} = 9,4605284 \times 10^{15} \text{ m}$$

$$1 \text{ Parsec} = 3,08567758 \times 10^{16} \text{ m}$$

- Na cinemática estudamos o movimento dos corpos sem a preocupação com as causas desse movimento, ou seja, apenas descrevendo-o.
- Referencial é um corpo ou conjunto de corpos tomados como referência para determinação da posição de um corpo.
- A unidade SI, para posição, é o metro (m).
- Ponto material é aquele móvel cujas dimensões são desprezíveis quando comparadas às distâncias envolvidas no seu movimento.

- Quando nos referimos ao tempo que decorrido entre dois eventos, temos um intervalo de tempo,  $\Delta t$  (lê-se delta t).

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

- A unidade SI, para tempo, é o segundo (s).
- Um ponto material está em movimento, em relação a um dado referencial, quando sua posição muda no decorrer do tempo em relação a esse referencial.
- Trajetória é a linha formada, em relação a um dado referencial, pelas sucessivas posições ocupadas pelo ponto material.
- A posição,  $x$ , do ponto material medida na sua própria trajetória, a partir de um ponto na trajetória, O (origem), será positiva se medida a partir de O e seguindo a orientação fornecida à trajetória e negativa em caso contrário.
- A unidade SI, para posição, é o metro (m).
- A variação de posição ou deslocamento,  $\Delta x$ , de um ponto material que se deslocou da posição  $x_1$ , no instante  $t_1$ , para a posição  $x_2$ , no instante  $t_2$ , é dada por:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

- A unidade SI, para deslocamento, é o metro (m).
- A distância percorrida,  $d$ , indica quanto efetivamente o ponto material percorreu no seu deslocamento.

$$d = |\Delta x|, \text{ para deslocamentos sem mudança de sentido.}$$

e

$$d = |\Delta x_{\text{ida}}| + |\Delta x_{\text{volta}}|, \text{ para deslocamentos com mudança de sentido.}$$

# I. EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

## SISTEMA SOLAR

**EP1.** Assinale a alternativa onde constam apenas teorias sobre a origem do sistema solar.

a) Teoria do Big Bang, teoria de Buffon (1749) e teoria nebular reformulada.

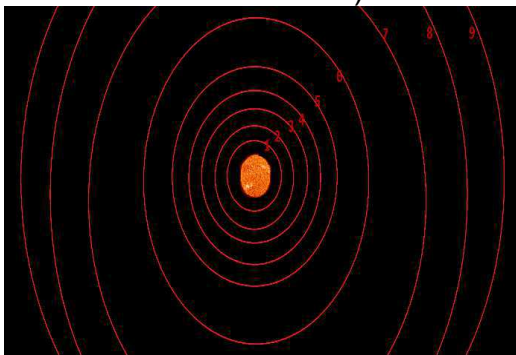
b) Evolução das espécies, hipótese nebular e teoria do Big Bang.

c) A teoria nebular reformulada, hipótese nebular e teoria de Kant (1755).

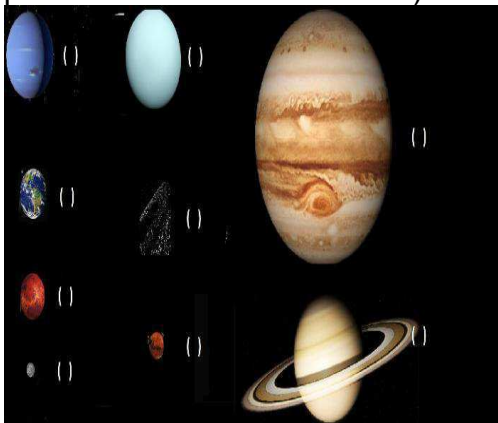
d) A teoria nebular reformulada, teoria do Big Bang e evolução das espécies.

e) Hipótese nebular, evolução das espécies e teoria de Buffon (1749).

**EP2.** Na representação do sistema solar abaixo, temos uma numeração de 1 a 9 para cada órbita indicada. (As distâncias das órbitas dos componentes do sistema solar ao Sol não estão em escala)



Relacione o número da órbita com as figuras abaixo: (O tamanho dos planetas está fora de escala.)



**EP3.** Marque V para verdadeiro e F para falso.

( ) A Terra é o único planeta do sistema solar com satélite natural.

( ) A Terra é o único planeta do sistema solar com água no estado líquido.

( ) Júpiter é o maior planeta do sistema solar.

( ) O Sol não realiza movimento de rotação.

( ) O sistema solar apresenta oito planetas, quatro rochosos e quatro jovianos.

( ) Todos os planetas do sistema solar realizam movimento de translação.

( ) Vênus e Urano são os únicos planetas do sistema solar com rotação retrógrada.

( ) Marte é o único planeta do sistema solar que não tem satélites naturais.

( ) Deimos é o nome de um dos satélites galileanos de Júpiter.

( ) Mercúrio e Vênus são os únicos planetas do sistema solar que não apresentam luas.

( ) Io é um satélite galileano.

**EP4.** Sobre os asteroides, marque a alternativa correta.

a) São astros fixos com luz própria.

b) São pequenos corpos celestes que gravitam o Sol, na sua maioria entre Marte e Júpiter.

c) Corpos que orbitam um planeta.

d) Corpos esféricos que emitem gases e poeiras.

e) São o mesmo que cometas.

**EP5.** Marque a alternativa onde só aparecem planetas anões.

a) Terra, Mercúrio, Plutão e Marte.

b) Marte, Ceres, Júpiter e Éris.

c) Gaspra, Ceres, Éris e Makemake.

d) Júpiter, Éris, Makemake e Ceres.

e) Plutão, Ceres, Haumea e Makemake.

**EP6.** Marque a alternativa onde só aparecem planetas rochosos do sistema solar.

- a) Terra, Mercúrio, Plutão e Marte.
- b) Marte, Júpiter, Urano e Éris.
- c) Halley, Vênus, Terra e Marte.
- d) Mercúrio, Vênus, Marte e Terra.
- e) Netuno, Vênus, Marte e Terra.

**EP7.** Sobre os planetas do sistema solar é correto:

- a) Os planetas telúricos têm diâmetros maiores que os gasosos.
- b) O menor planeta do sistema solar é Joviano.
- c) Os maiores planetas do sistema solar são gasosos.
- d) O planeta mais quente do sistema solar é Mercúrio, já que está mais próximo do Sol.
- e) Vênus não apresenta atmosfera.

**EP8.** Com a unidade astronômica medimos...

- a) forças.
- b) velocidades no universo.
- c) distâncias no sistema solar.
- d) energia.
- e) massas de planetas.

**EP9.** O ano-luz é unidade de medida de:

- a) massa.
- b) tempo.
- c) energia.
- d) distância.
- e) força.

**EP10.** Assinale a alternativa onde a unidade astronômica (UA) é a unidade mais adequada para a medida indicada.

- a) Medida da altura de um edifício.
- b) Medida da distância entre Natal e Mossoró.
- c) Medida da distância entre a Terra e a Lua.
- d) Medida da distância entre Júpiter e o Sol.
- e) Medida da distância entre a Terra e a estrela Betelgeuse.

**EP11. (UFRGS-RS)** O ano de 2009 foi proclamado pela UNESCO o Ano Internacional da Astronomia

para comemorar os 400 anos das primeiras observações astronômicas realizadas por Galileu Galilei através de telescópios e, também, para celebrar a Astronomia e suas contribuições para o conhecimento humano.

O ano de 2009 também celebrou os 400 anos da formulação da Lei das Órbitas e da Lei das Áreas por Johannes Kepler. A terceira lei, conhecida como Lei dos Períodos, foi por ele formulada posteriormente.

A Astronomia estuda objetos celestes que, em sua maioria, se encontram a grandes distâncias da Terra. De acordo com a mecânica



newtoniana, os movimentos desses objetos obedecem à Lei da Gravitação Universal.

Considere as seguintes afirmações, referentes às unidades empregadas em estudos astronômicos.

I – Um ano-luz corresponde à distância percorrida pela luz em um ano.

II – Uma unidade Astronômica (1UA) corresponde à distância média entre a Terra e o Sol.

III – No Sistema Internacional (SI), a unidade da constante G da Lei da Gravitação Universal é  $m/s^2$ .

Quais estão corretas?

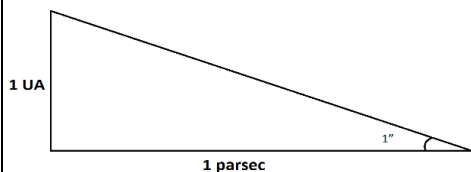
- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas III.

d) Apenas I e II.

e) I, II e III.

**ER1. Encontre o valor de 1 parsec em unidades astronômicas (UA).**

**Resolução:**



Da definição de parsec, temos o triângulo acima.

$$\text{Onde: } \tan 1'' = \frac{1 \text{ UA}}{1 \text{ parsec}}$$

$$\text{Como } \tan 1'' \approx 1'' = \frac{2\pi}{360 \cdot 60 \cdot 60}$$

$$\therefore \frac{2\pi}{360 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1 \text{ UA}}{1 \text{ parsec}}$$

$$\therefore 1 \text{ parsec} = \frac{1 \text{ UA} \cdot 360 \cdot 60 \cdot 60}{2\pi} = 206 \, 264,8 \text{ UA}$$

**EP12.** Encontre o valor de 1 parsec em km e ano-luz. (Considere: 1 UA = 150 000 000 km e 1ano-luz =  $9,5 \cdot 10^{12}$  km)

**EP13.** Sabendo que Sírio fica a 8,6 anos-luz da Terra, expresse a distância entre Sírio e a Terra em parsec. Use as informações adquiridas na questão anterior.

**EP14.** Plutão, que em 2006 foi “rebaixado” a planeta anão, voltou a ficar em evidência em 2015 pois recebeu a visita da sonda new Horizons após uma viagem de nove anos e um percurso de cerca de 4,83 bilhões de quilômetros. Lembrando que 1 UA (distância Terra-Sol) corresponde a cerca de 150 milhões de quilômetros, encontre o valor da distância percorrida pela new Horizons e a distância de Plutão ao Sol (5,9 bilhões de km) em UA.

**EP15.** A estrela alfa da constelação da Ursa Menor, a estrela polar,

sempre serviu de orientação para os navegantes, em virtude de estar alinhada com o eixo de rotação da Terra no hemisfério norte ela está sempre fixa no firmamento e situa-se a cerca de 430 a.l. da Terra.



Encontre esta distância em quilômetros. (Lembre-se: 1 ano-luz =  $9,4605284 \times 10^{15}$  m.)

**EP16.** Devido à precessão dos equinócios, daqui a 12 000 anos a estrela Vega será a estrela polar. Sabendo que a distância de Vega à Terra é de aproximadamente 25 anos-luz.

Qual é o valor desta distância em quilômetros?

## CONCEITOS BÁSICOS DE CINEMÁTICA ESCALAR

**EP17.** Considere a situação:

Dois aventureiros, Ti e Bério, esconderam-se na *Voyager 1*, no dia de seu lançamento, e, não sendo descobertos, seguiram viagem.

Quando saíram do planeta Terra Ti disse:

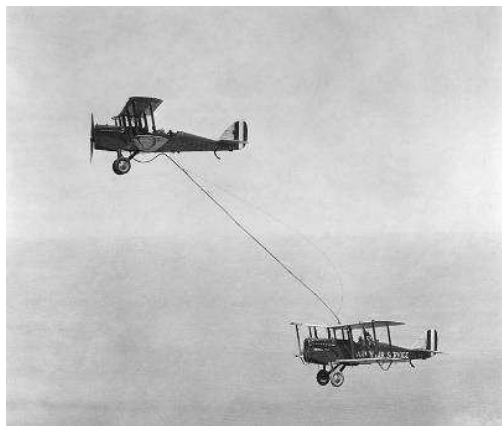
- A Terra tá em movimento se afastando de nós.

Já, Bério retrucou:

- Não, nós é que estamos em movimento.

Com base nos conceitos de repouso e movimento, explique a situação aos nossos aventureiros?

**EP18.** Num reabastecimento aéreo é feita transferência de combustível de uma aeronave para outra em pleno voo, uma prática muito utilizada em aviões de guerra. O



Capitão L. Smith e tenente J. Richter realizando o primeiro reabastecimento aéreo da história (wikipedia.org/wiki/)

primeiro reabastecimento aéreo da história foi realizado em 1923 quando um biplano DH-4B permaneceu em voo por 37 horas, através dessa prática.

Na imagem acima, considerando os aviões como pontos materiais, responda:

a) os aviões estão em movimento ou em repouso em relação à superfície da Terra?

b) o avião de cima está em movimento ou em repouso em relação ao avião de baixo?

c) considere que um terceiro avião faz parte da formação mostrada na imagem, de tal forma que está em repouso em relação ao avião de baixo, este terceiro avião está em repouso ou em movimento em relação ao de cima? E, em relação à Terra?

**EP19.(EFOA-MG)** Um aluno, sentado na carteira da sala, observa os colegas, também sentados nas respectivas carteiras, bem como um mosquito que voa



Voyager 1.(Nasa).www.nasa.gov/ alternativas abaixo, a única que retrata uma análise correta do aluno é:

persequindo o professor que fiscaliza a prova da turma. Das

a) A velocidade de todos os meus colegas é nula para todo observador na superfície da Terra.

b) Eu estou em repouso em relação aos meus colegas, mas nós estamos em movimento em relação a todo observador na superfície da Terra.

c) Como não há repouso absoluto, não há nenhum referencial em relação ao qual nós, estudantes, estejamos em repouso.

d) A velocidade do mosquito é a mesma, tanto em relação aos meus colegas, quanto em relação ao professor.

e) Mesmo para o professor, que não para de andar pela sala, seria possível achar um referencial em relação ao qual ele estivesse em repouso.

**EP20.** Marque V para verdadeiro e F para falso.

Um móvel pode estar em repouso em relação a um referencial e em movimento em relação a outro.

O Sol está em repouso em relação à Terra.

Dados dois corpos **A** e **B**. Se **A** está em repouso em relação a **B**, então **B** estará em repouso em relação a **A**.

Dados três corpos **A**, **B** e **C**. Estando **A** em movimento, em relação a **B** e **C**, **B** pode estar em repouso em relação a **C**.

Dados três corpos **A**, **B** e **C**. Estando **A** em repouso em relação a **B**, e **B** em repouso em relação a **C**, certamente **A** está em repouso em relação a **C**.

Um móvel em movimento em relação a um sistema de referência estará em movimento em relação a qualquer outro sistema de referência.

A Terra está em movimento em relação aos demais planetas do sistema solar.

() Quando a posição de um corpo varia com o tempo em relação a um dado referencial, este corpo está em repouso em relação a este referencial.

() Quando a posição de um corpo não varia com o tempo em relação a um dado referencial, este corpo está em movimento em relação a este referencial.

**EP21.** Marque V para verdadeiro e F para falso.

() A *Voyager 1* tem, aproximadamente o tamanho de um carro e cerca de 700 kg, logo é, certamente, um ponto material.

() A *Voyager 1*, em sua jornada espaço afora, pode ser considerada um ponto material.

() Uma mosca é, certamente, um ponto material.

() Um ônibus espacial não é, certamente, um ponto material.

() Um ônibus espacial acoplado na Estação Espacial Internacional (ISS) não é, certamente, um ponto material.

() A Terra, em seu movimento de rotação, é um ponto material.

() A Terra, em seu movimento de translação em torno do Sol, pode ser considerada um ponto material.

**EP22.** As chuvas de caju, que chegam para anunciar o fim da estação seca, quando em boa quantidade, propiciam grandes safras desse fruto tão brasileiro. Num cajueiro contemplado por ótimas chuvas de caju, um caju desprende-se e cai.

a) Qual a trajetória do caju, em relação ao chão, num dia sem vento?

b) Qual a trajetória do caju, em relação ao chão, com um vento horizontal passando pelo cajueiro?

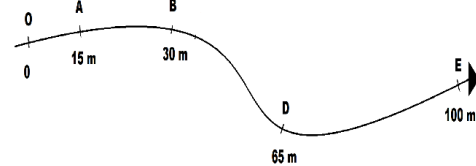
**E23.** Um casal de namorados sobe juntos num carrossel em movimento e, ao subirem, separam-se. O rapaz dirige-se ao

centro do carrossel enquanto sua namorada fica na borda. Esboce a trajetória do rapaz em relação:

a) a sua namorada;

b) ao pai da garota que ficou fora do brinquedo, só observando.

**EP24.** Na figura abaixo temos a trajetória seguida por um móvel e as posições ocupadas por este móvel, em determinados instantes, representadas pelos pontos O, A, B, D e E.



Determine a posição ( $x$ ) de cada ponto:

a) quando a origem estiver A e a orientação for de O para D;

b) quando a origem estiver D e a orientação for de D para O.

**EP25.** Estou esperando a visita de meu pai e, em determinado instante, recebo um *WhatsApp* incompleto de meu pai, onde ele dizia: “Estou no km 55...” Com essa informação sei que:

a) meu pai, certamente, já percorreu 55 km.

b) meu pai, certamente, está indo no sentido crescente das marcações quilométricas.

c) meu pai está em movimento.

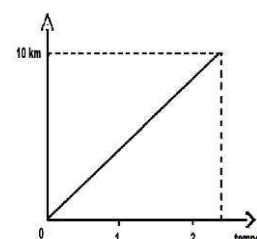
d) meu pai está em repouso.

e) meu pai está no km 55 da rodovia, ou seja, a 55 km do marco zero da rodovia; podendo estar em movimento ou não.

**EP26. (ENEM)**

O gráfico ao lado modela a distância percorrida, em km, por uma pessoa em certo período de tempo.

A escala de tempo a ser adotada para o eixo das abscissas





depende da maneira como essa pessoa se desloca. Qual é a opção que apresenta a melhor associação entre meio ou forma de locomoção e unidade de tempo, quando são percorridos 10 km?

- a) carroça – semana
- b) carro – dia
- c) caminhada – hora
- d) bicicleta – minuto
- e) avião – segundo

**EP27.** Um automóvel partiu do km 44 de uma rodovia para o km 88 da mesma rodovia, sempre no mesmo sentido durante todo trajeto. Determine o deslocamento e a distância percorrida pelo automóvel.

**EP28.** Numa certa rodovia, um caminhão foi do km 116 para o km 65, sempre no mesmo sentido durante todo trajeto. Determine a variação na posição e a distância percorrida pelo caminhão.

**EP29.** Um automóvel partiu do km 45 de uma rodovia, foi até o km 185 e retornou, em seguida, para o km 80. Determine:

- a) o deslocamento do automóvel durante todo o percurso.
- b) a distância percorrida pelo automóvel durante todo o percurso.

**EP30.** Um transporte leva equipes médicas para duas cidades vizinhas **A** e **B**, localizadas respectivamente nos quilômetros 34 e 68 de uma mesma rodovia. Como o transporte parte de sua base no km 80 dessa rodovia, ele deixa as equipes da cidade **B** primeiro e, em seguida, as equipes da cidade **A** e fica em **A** até o fim dos trabalhos quando, então, vai para **B** e retorna para sua base. Agora responda:

- a) qual o deslocamento do transporte durante todo o percurso?

b) qual a distância percorrida pelo transporte durante todo o percurso?

**EP31.** Certo caminhão pipa tem a capacidade de 20 000 litros. Em certo, dia partiu de seu posto de abastecimento, no km 80 de uma determinada rodovia, e realizou três entregas de água.

A primeira, de 15 000 litros, no km 100, a segunda, de 5 000 litros, no km 135 e a terceira, de 20 000 litros, no km 150. Sabendo que após a segunda entrega ele teve que voltar ao posto de abastecimento, responda:

- a) qual o deslocamento do caminhão, até retornar ao posto de abastecimento, após a segunda entrega?
- b) qual a distância percorrida pelo caminhão, até retornar ao posto de abastecimento, após a segunda entrega.
- c) qual o deslocamento do caminhão até completar a terceira entrega?
- d) qual a distância percorrida pelo caminhão até completar a terceira entrega?

## I. SUGESTÕES PARA FAZER, LER, VISITAR OU ASSISTIR.

### Atividades práticas

Seguindo as orientações da seção “Você, astrônomo!” e uma carta estelar, procure observar os planetas visíveis a olho nu.

Observar os planetas interiores e exteriores numa sucessão de dias.

### Revistas

Astronomy – <http://astronomy.com/>  
 Scientific American Brasil – <http://www2.uol.com.br/sciam/>  
 Ciência Hoje <http://cienciahoje.uol.com.br/>

### Sítios

- Agência Espacial Brasileira – <http://www.aeb.gov.br/>
- Observatório Nacional – <http://www.on.br/>
- Planetários <http://www.planetarios.org.br/>
- Inpe – <http://www.inpe.br/>
- Nasa – <http://www.nasa.gov/>
- OBA – <http://www.oba.org.br/>
- Biblioteca Virtual de Astronomia <http://www.prossiga.br/astronomia/>

### **Filmes**

- 2001: Uma Odisséia no Espaço
- O Céu de Outubro
- Impacto Profundo
- Da Terra à Lua
- Cosmos (Carl Sagan)
- Cosmos (Neil deGrasse Tyson)
- Os Eleitos
- 1492 – A Conquista do Paraíso
- A volta ao Mundo em 80 Dias
- A Máquina do Tempo
- APOLLO 13
- O Planeta Vermelho
- O Núcleo – Missão ao Centro da Terra (2003)
- Guerra dos Mundos (1952)
- Guerra dos Mundos (2005)
- Prometheus
- Interestelar
- Perdido em Marte

## Capítulo 2: Via Láctea

### I. INTRODUÇÃO

Vimos no capítulo anterior o início de uma das maiores aventuras da humanidade – a viagem das sondas gêmeas *Voyager* – que, em 1977, partiram da Terra e nos anos seguintes visitaram e coletaram dados dos planetas Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e também de vários de seus satélites. No entanto, sua missão não se encerrou com a visita aos planetas mais distantes do Sol, as sondas seguiram adiante até os limites do sistema solar e, em 2012, a *Voyager 1* tornou-se o primeiro dispositivo humano a deixar o sistema solar.

E agora, o que as espera? O que vem depois da nossa estrela, O Sol? Ora, bilhões e bilhões de outras estrelas que juntas formam uma galáxia, da qual nosso Sol faz parte - a **Via Láctea**. E depois, o que vem? Ora, bilhões e bilhões de outras galáxias, cada uma com bilhões e bilhões de estrelas.

Então, neste exato momento, as sondas estão a caminho de outros sistemas solares; o nosso sistema solar ficou para trás. Mas não nos iludamos pois logo as sondas deixarão de mandar notícias e, seja lá o que encontrarem pelo caminho, não ficaremos sabendo. Não podemos esquecer também que o universo é gigantesco e o mais provável é que decorram milhares, ou melhor, centenas de milhares de anos até que uma delas visite um planeta de um outro sistema solar.

Nossas pioneiras estão a “deriva” num oceano infinitamente maior que qualquer um de nossos oceanos, como garrafas soltas no mar com um pequeno bilhete dentro delas. Na verdade, é isso mesmo, os cientistas esperançosos de que alguém (espécie alienígena, humanos do futuro, humanos de outras regiões do universo...) “esbarre” com as sondas em seu caminho rumo ao infinito, colocaram em cada sonda, um disco fonográfico de cobre banhado a ouro. Nestes discos encontram-se amostras da diversidade de vida e cultura da Terra - sons de animais, músicas folclóricas, músicas clássicas e fotos de temas diversos.

Será que as sondas chegarão em um outro planeta? Será que, antes disto, esbarrarão com alguém? E, este alguém, com as pistas fornecidas nos discos de ouro, terá como nos encontrar? Ficamos mais uma vez com a nossa imaginação.

### II. UNIVERSO

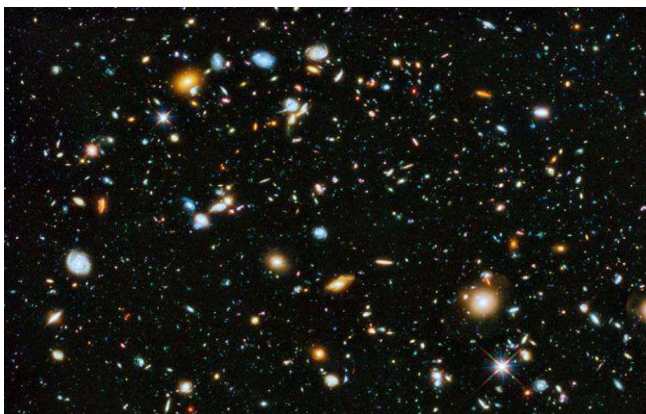


Imagem do HUDF, Dez mil galáxias num pedacinho de céu (Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/)).

A Terra é o nosso lar, se imaginarmos a Terra como nossa casa ou apartamento, o sistema solar será nosso prédio e a Via Láctea nosso condomínio, e que condomínio! Com duzentos bilhões de prédios, ou seja, 200 bilhões de estrelas. Mas nosso mundo acaba quando acaba nosso condomínio? É claro que não. Do mesmo jeito é o universo, ele

não acaba em nossa galáxia, estima-se que existam centenas de bilhões de galáxias no universo observável.

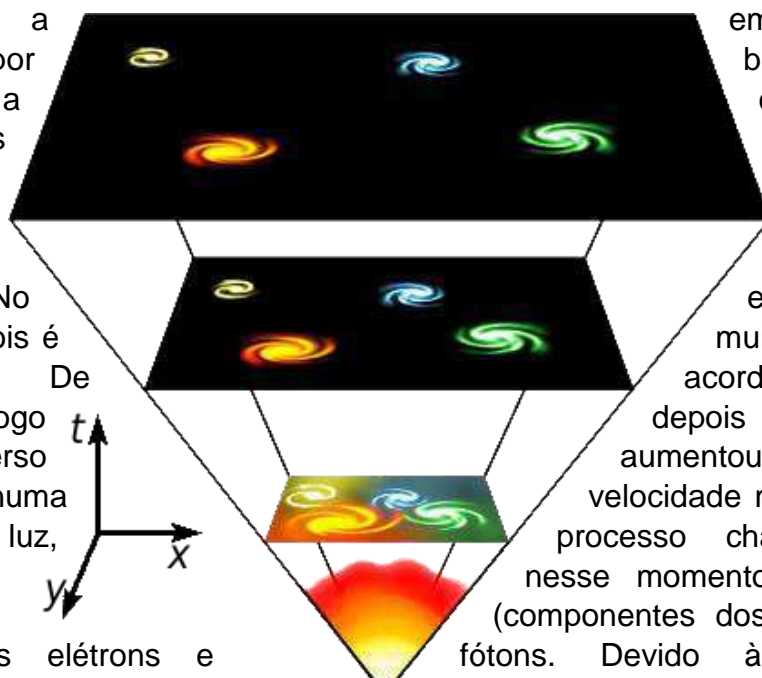
Só para você ter uma ideia de quão grande é o universo, entre os anos de 2003 e 2004 os cientistas apontaram o telescópio espacial Hubble para uma pequena mancha (pequena mesmo, cerca de  $1 \text{ mm}^2$ ) na constelação de Fornax e, imaginem só, cerca de 10 mil galáxias foram reveladas neste pedacinho do céu.

## Big Bang

Que o Universo é imenso já sabemos. Ele teve um início? Ou sempre existiu e continuará a existir eternamente? A humanidade vem tentando responder essa questão desde sempre. A primeira pista para desvendar esse mistério foi dada, em 1929, pelo astrônomo americano Edwin Hubble (1889-1953) quando através de suas observações constatou que as galáxias estavam se afastando uma das outras, ou seja, o Universo estava em expansão. Portanto, se as galáxias estão se afastando, no passado estavam mais próximas e, no início dos tempos, tudo (matéria e energia) estava muito compactado. Nesse momento (a cerca de 13,8 bilhões de anos), com tudo condensado numa minúscula região, ocorreu uma grande explosão, o “**Big Bang**”, dando início ao Universo.

Na verdade, a teoria do Big Bang não explica o que aconteceu no exato momento da “explosão” só o que aconteceu logo depois - o início continua sem explicação. Para chegarmos a uma explicação sobre o que aconteceu no momento do Big Bang é necessária uma conciliação entre a **relatividade** e a **teoria quântica** – a “**teoria de tudo**”. Quem já mostrou algum progresso na busca dessa teoria de tudo foi o físico britânico Stephen Hawking (1942-) ao explicar

a emissão de radiação por buracos negros com a combinação das duas teorias. Tubo bem, o momento exato do Big Bang ainda não tem explicação! No entanto, o que veio depois é explicado. De acordo com a teoria, logo depois do Big Bang o Universo aumentou de tamanho numa velocidade maior que a velocidade da luz, processo chamado de **inflação**. Nesse momento havia os quarks (componentes dos prótons e nêutrons), os elétrons e fótons. Devido à altíssima

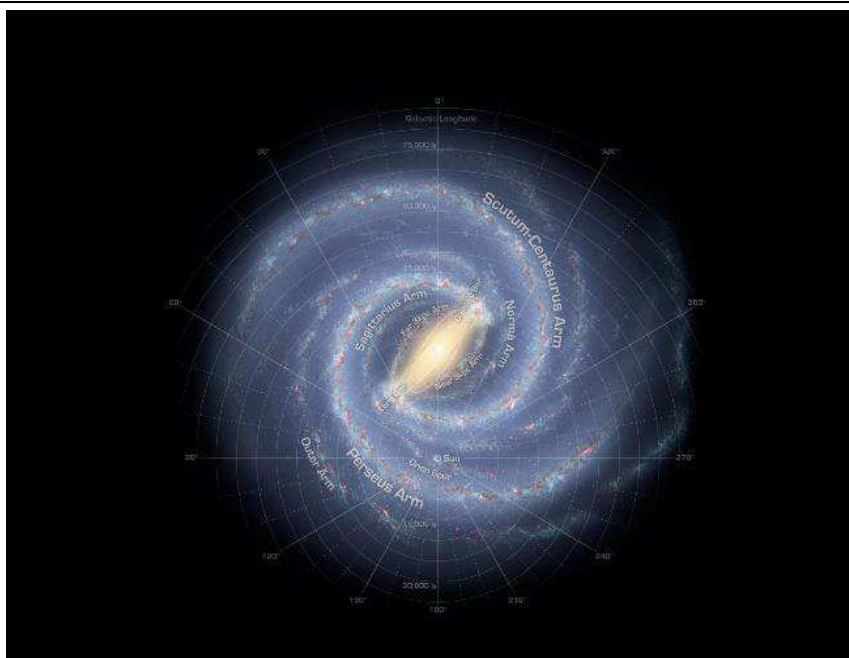


[wikipedia.org/wiki/Big\\_Bang](http://wikipedia.org/wiki/Big_Bang)

temperatura essas partículas não se combinavam; o que ocorria era produção de fótons a partir da **aniquilação** de matéria – do choque de quarks com antiquarks ou do choque de elétrons com antielétrons só sobravam fótons. A inflação e a aniquilação ocorreram antes do fim do primeiro segundo de vida do

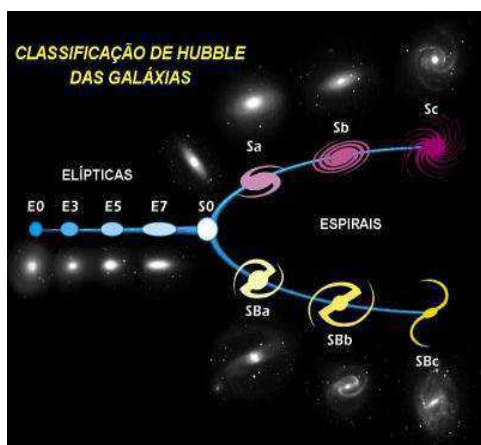
Universo. Depois do primeiro segundo, a expansão continuou e o Universo esfriou até que, a mais ou menos 10 bilhões de graus Celsius, os quarks puderam se combinar em prótons e nêutrons. Depois, esses prótons e nêutrons combinaram-se dando origem aos primeiros núcleos atômicos: núcleos de hidrogênio (o mais simples), cerca de 75% do total, núcleos de hélio, 25%, e resíduos de lítio. Quando o Universo já tinha uns 300 mil anos de idade, a temperatura havia baixado até cerca de 3 000 graus Celsius possibilitando a formação dos primeiros átomos estáveis (matéria prima para as primeiras estrelas e galáxias). Nesse momento, os fótons passaram a circular pelo cosmos na forma de micro-ondas – **radiação cósmica de fundo**. E o fato dessa radiação vir de toda parte mostra que o Big Bang aconteceu em todo lugar, ou seja, com o Big Bang o Universo inflou, ao contrário do que se propaga erradamente, de que o Universo começou e se espalhou por um espaço vazio.

### Galáxias e estrelas



Nossa localização na Via Láctea (Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

Do Big Bang surgiram os primeiros átomos estáveis (hidrogênio, hélio e lítio), que através da gravidade formaram nuvens gasosas que deram origem às primeiras estrelas e galáxias. A galáxia da qual nosso Sol faz parte é a Via Láctea, tem a



Fonte: [http://www.ccvalg.pt/astrologia/galaxias/o\\_que\\_sao\\_as\\_galaxias.htm](http://www.ccvalg.pt/astrologia/galaxias/o_que_sao_as_galaxias.htm)

forma de um disco (**galáxia espiral**) com cerca de 100 mil anos-luz de diâmetro e 3 mil anos-luz de espessura. O Sol está a aproximadamente 30 mil anos-luz do centro da Via Láctea. A Via Láctea pertence a um grupo de galáxias chamado de grupo local que, por sua vez pertence a um grupo de grupos de galáxias, chamado de aglomerado de Virgem, o qual ainda pertence ao superaglomerado de Virgem. A Via Láctea tem cerca de treze bilhões de anos, em locais adequados pode ser vista facilmente tendo a aparência de uma faixa de poeira e luz cortando o céu; é formada

por cerca de 200 bilhões de estrelas. Também a olho nu, podemos ver as galáxias: nebulosa de Andrômeda - galáxia espiral mais próxima da Via Láctea e com o dobro de estrelas -, a Pequena nuvem de Magalhães e a Grande Nuvem de Magalhães.

As galáxias são compostas basicamente de estrelas, poeira, gás e **matéria escura**; de acordo com sua forma, são classificadas em três tipos básicos: elípticas, espirais e irregulares.

Estamos acostumados a ouvir que estrelas são astros que emitem luz própria mas esta afirmação não está completa, na verdade um objeto só será chamado de estrela quando for capaz de realizar  **fusão nuclear**. Vimos que o Sol surgiu no núcleo da nuvem de poeira e gás que deu origem ao sistema solar, e que após este núcleo receber mais e mais massa girou e contraiu-se cada vez mais produzindo temperatura e pressão tais que ocorreu fusão de hidrogênio em hélio – fusão nuclear – nesse momento a energia liberada pela fusão equilibrou a força gravitacional que comprimia o núcleo estabilizando seu tamanho. Para todas as estrelas é mais ou menos desse jeito, acendem quando iniciam a fusão nuclear. Aquelas estrelas que não conseguiram iniciar a fusão recebem o nome de “**estrelas abortadas**” também conhecidas como “**anãs marrons**”, embora sejam avermelhadas e de um brilho fraco.

O tipo de estrela depende da nuvem de poeira e gás que a originou. Pouca matéria disponível, estrela de pouca massa e “fria” (temperatura até 3 000 K), mais matéria, estrela maior e mais quente, mais matéria ainda, estrela maior ainda e mais quente ainda. Deu para entender? Quanto maior mais quente.

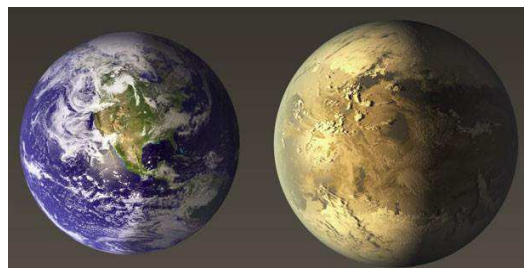
A cor de uma estrela nos indica sua temperatura, as menos massivas, ou seja, as mais frias são vermelhas, as de maior massa, portanto mais quentes, são azuis e, as intermediárias, como o nosso Sol, amarelas. Os astrônomos classificaram as estrelas de acordo com a temperatura de sua superfície (classificação espectral) em sete grupos principais:

Tabela 1: Classificação espectral das estrelas.

Classe	Cor da estrela	Temperatura superficial (K)
<b>O</b>	Azul	30 000
<b>B</b>	branco-azulado	20 000
<b>A</b>	Branco	10 000
<b>F</b>	branco-amarelado	7 000
<b>G*</b>	Amarelo	6 000
<b>K</b>	Alaranjado	4 000
<b>M</b>	Vermelho	3 000

\* = Categoria do nosso Sol.

Dentro de cada classe ainda temos dez subgrupos numerados de **0** a **9**, nosso Sol pertence a classe **G2**. E aquelas estrelas com características excepcionais são designadas pela letra **p** e, ainda, as anãs pela letra **d**, as gigantes e supergigantes pelas letras **g**

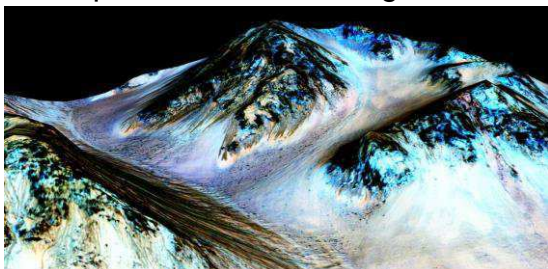


Comparação entre a Terra e o exoplaneta Kepler-186f, que está na zona habitável de sua estrela (Nasa).

e s, respectivamente.

Podemos ter planetas orbitando qualquer tipo de estrela (exceto, talvez, as estrelas formadas no início do Universo) e todos, em geral, girando no mesmo plano e no mesmo sentido por terem sido formados do mesmo disco de poeira e gás. Já foram descobertos planetas orbitando anãs brancas, anãs vermelhas e estrelas como o Sol. Os planetas que orbitam outras estrelas são chamados de **exoplanetas**; nas últimas décadas inúmeros exoplanetas foram descobertos alguns bem parecidos com a Terra.

Quando falamos de planetas orbitando estrelas, de imediato, vem a pergunta “Pode existir vida lá?” Bem, não basta estar orbitando uma estrela, vários fatores devem ser considerados. O tipo de estrela é o primeiro fator, gigantes azuis consomem seu combustível em poucos milhões de anos não dando tempo para o surgimento de vida em algum planeta que a orbite, já estrelas intermediárias como o nosso Sol, que podem durar até 12 bilhões de anos, fornecem tempo suficiente para o surgimento e desenvolvimento da vida. Porém, quando se fala de tempo, as anãs vermelhas que levam trilhões de anos para consumir seu combustível são as mais propícias para que apareça vida em um de seus planetas. Outro fator importantíssimo, é a distância do planeta a sua estrela, o planeta deve estar na chamada **zona habitável**; pois de nada adianta orbitar uma estrela como o Sol, se estiver perto de mais (muito quente para surgir vida) ou longe demais (muito frio para surgir vida). O muito perto, significa que as temperaturas no planeta não permitem a ocorrência de água no estado líquido pois esta evaporaria e, o muito longe, o mesmo (falta de água no estado líquido), só que agora, a água estaria congelada. Tem mais, a órbita do planeta não pode ser muito elíptica nesse caso o planeta estaria muito próximo e muito longe de sua estrela alternadamente, ao longo do ano.



Cratera Hale. As manchas escuras são um indício de fluxo de água líquida (Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

Vejam como somos privilegiados, nosso Sol é o de tipo adequado, não estamos nem muito perto nem muito longe dele e nossa órbita é quase circular; sem falar da abundância de água, de nossa atmosfera, da

inclinação de nosso eixo de rotação e de nosso campo magnético.

Bem, somos privilegiados, mas não para sempre. Com o passar do tempo o Sol aquecerá, mais e mais; o aumento da radiação solar provocará um grande efeito estufa que aquecerá o planeta e, com a evaporação dos oceanos, esse efeito estufa se reforçará cada vez mais tornando a Terra completamente inabitável. Isto ocorrerá daqui a mais ou menos 1 bilhão de anos, **se ainda estivermos aqui**, provavelmente teremos tecnologia para nos mudarmos para um lugar melhor e o principal candidato é Marte que aquecerá voltando a ter água no estado líquido e atmosfera mais densa. Na verdade, já em 2015, o rover Curiosity encontrou evidências de água no estado líquido próximo à superfície de Marte apesar das baixíssimas temperaturas.

## Constelações



Constelação do Cruzeiro do Sul (<http://www.beststylepics.net/photo/o/o-cruzeiro-do-sul/12>)

Quando olhamos para o céu a olho nu, à noite, temos a oportunidade de observar cerca de 2 mil estrelas acima do horizonte, algo que já vem sendo feito há milhares de anos. Os povos da antiguidade começaram a identificar em alguns grupos de estrelas semelhanças com personagens de sua mitologia e cultura, não só os gregos, mas os mesopotâmios, egípcios, chineses e, também, os índios brasileiros associavam formas de objetos e nomes de deuses aos agrupamentos de estrelas – as **constelações**. Na verdade, os nomes dados às constelações em geral não correspondem ao que enxergamos no céu com poucas exceções, o **Cruzeiro do Sul** é uma dessas exceções. Outra constelação bem conhecida no Brasil é a **Constelação de Órion**, na verdade sua parte central (as **Três Marias**). A partir das Três Marias fica bem fácil visualizar o restante da constelação de Órion.



Constelação de Órion  
([http://www.espiritualismo.info/mitologia\\_grec\\_o\\_romana](http://www.espiritualismo.info/mitologia_grec_o_romana))

Para a astronomia moderna, uma constelação corresponde a uma determinada área da esfera celeste, “pedaço do céu”. Como dissemos, cada povo deu nomes seus às constelações e, procurando uma uniformização, a União Astronômica Internacional (UAI) dividiu a esfera celeste, o céu, em 88 constelações.

## Leitura complementar

### Fábrica de sonhos

A fabricação dos elementos químicos (ou nucleossíntese, como é chamada) começou com o Big Bang, mas o mundo seria muito sem graça se só houvesse hidrogênio, hélio e lítio. Felizmente, a arquitetura das estrelas permite a elas complementarem o serviço da “grande explosão”. Foi no núcleo das primeiras



estrelas que apareceram os primeiros átomos mais pesados, como carbono e oxigênio.

A fusão nuclear se dá no interior das estrelas primeiro usando o hidrogênio como combustível. Ao cabo de milhões ou bilhões de anos (dependendo do porte da estrela: quanto mais massa, mais rapidamente ela gasta seu combustível), o hidrogênio se torna escasso e ela passa a fundir hélio, convertendo-o em carbono; dali, o carbono será fundido em átomos diversos, como neônio, oxigênio, sódio e magnésio. Finalmente, se tiver massa suficiente, a estrela fundirá esses átomos em ferro.

A fusão é a maneira que as estrelas encontram para defender sua estabilidade. Ao fundir elementos em seu núcleo, elas produzem uma pressão de radiação na direção de dentro para fora, que compensa a pressão exercida por sua própria gravidade, de fora para dentro. Ocorre que, quando se chega no ferro, há um impasse. O processo de fundi-lo, em vez de produzir mais energia, exige que mais energia seja depositada no processo – energia que a estrela não tem de onde tirar. Ou seja, é um beco sem saída para o astro, que, sem poder combater a força da gravidade, implode.

Se sua massa for algumas vezes maior que a do Sol, ele explodirá na forma de uma supernova. É o urro final de uma estrela moribunda de grande massa. Após esgotar todas as possibilidades de fazer fusão, ela explode suas camadas exteriores. No instante inicial, ela brilha mais que a galáxia inteira em que reside. Ao longo de dias e semanas, seu brilho se torna mais intenso do que o de todas as estrelas de sua galáxia de origem. É um evento literalmente celestial.

Nesse processo violento são produzidos os elementos mais pesados que o ferro – é da supernova que vem a energia extra requerida para a produção de átomos como os de urânio e plutônio. E o espalhamento desses materiais pelo cosmos após a explosão faz com que aquela região do espaço seja semeada com todos esses elementos pesados. Com o tempo, uma nuvem de gás se condensará ali e dará origem a futuras estrelas, que terão incorporados em si os restos de suas antepassadas.

Foi graças a esse processo que o Sol, uma estrela comum pertencente à terceira geração de astros desse tipo, formada cerca de 4,7 bilhões de anos atrás, obteve seus elementos mais pesados.

Da mesma maneira, foi essa presença marcante que permitiu o surgimento de planetas como a Terra, cujo interior é rico em ferro. A vida, como a conhecemos, é baseada em compostos complexos estruturados em cadeias de carbono. Cada átomo de carbono em nossos corpos um dia foi forjado no coração escaldante de uma estrela que nem existe mais.

Com essa assombrosa constatação, a humanidade encontrou um elo profundo com o Universo. Não fosse por todos os processos violentos que têm ocorrido no cosmos afora nos últimos treze bilhões de anos, não haveria como estarmos aqui. Fecha-se o elo entre a busca humana por origens e a própria história do Universo. Como gostava de dizer o astrônomo e divulgador de ciência americano Carl Sagan, “somos todos poeira de estrelas”.

Mas, longe de ser o final, esse é apenas o começo da aventura.

(Texto extraído da coleção explorando o ensino, vol. 11 Astronomia)

## Você, astrônomo!

## Observação do céu a olho nu.

Com a tecnologia de que dispomos hoje, não faltam opções para nosso entretenimento: TV, “navegação” na internet, cinema, jogos eletrônicos, museus, etc. Porém uma atividade tão antiga quanto o homem – **a observação do céu** – pode propiciar momentos prazerosos de contemplação e, acreditem, sem a necessidade obrigatória do uso de tecnologia.

É no céu que acontecem os fenômenos astronômicos. Mas não basta olhar para cima, devemos procurar lugares adequados longe da luminosidade das cidades, ou seja, lugares escuros. No escuro com a pupila dilatada estamos aptos a observar até aquelas estrelas menos “brilhantes”.

Nesse momento, convém distinguir brilho ou magnitude de luminosidade. Quando falamos de brilho estamos nos referindo à sensação luminosa que recebemos do astro (estrela ou planeta) que estamos observando; o brilho depende da distância do observador ao astro sendo quantificado, tradicionalmente, tanto menor quanto maior for o brilho – uma estrela de magnitude 1 brilha mais que uma estrela de magnitude 2. No entanto, na luminosidade o importante é o astro, a luminosidade é uma característica própria do astro. Há estrelas muito luminosas mas que, daqui da Terra, não brilham tanto quanto outras menos luminosas. A explicação está no fato de as menos



luminosas estarem mais próximas da Terra [Grande Nuvem de Magalhães \(pt.wikipedia.org\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Grande_Nuvem_de_Magalhães) provocando uma maior sensação luminosa.

O olho humano pode enxergar estrelas de até magnitude 6 (lembre-se: magnitude maior é igual a brilho menor) e só pode discriminar imagens que subtendem a um ângulo de cerca de 0,5’.

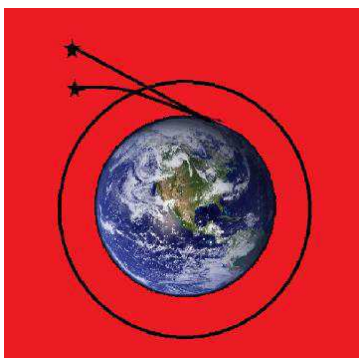
Como dissemos, é no céu que acontecem os fenômenos astronômicos, mas nem tudo que se observa no céu é fenômeno astronômico. Entre a Terra e o espaço temos a atmosfera; àqueles fenômenos que acontecem na atmosfera damos o nome de meteorológicos e aqueles que acontecem no espaço são os astronômicos. Devemos ter cuidado com algumas exceções, um **meteoro**, “estrela cadente”, acontece na atmosfera mas tem origem cósmica e um satélite artificial está no espaço mas não é fenômeno astronômico.

O que podemos enxergar a olho nu, num ambiente adequado, são: o Sol, a Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Saturno, Urano (em condições bem favoráveis), cerca de seis mil estrelas em toda a esfera celeste, a Via Láctea, Andrômeda, a Luz Zodiacal, a Pequena Nuvem de Magalhães, a Grande Nuvem de Magalhães e a Nebulosa de Órion.

A luz proveniente do espaço ao atravessar a atmosfera sofre sua influência; o céu diurno é um exemplo dessa influência. A luz solar é difundida pelas gases e poeiras da atmosfera deixando o céu diurno claro, se não tivéssemos atmosfera o céu diurno seria escuro como o céu noturno e a única diferença

entre um e outro seria o Sol. Já imaginaram? De dia, teríamos o céu negro repleto de estrelas e com o Sol.

A atmosfera também interfere na radiação emitida pelos astros, ou seja, a luz que sai de um astro e viaja pelo espaço não é a mesma que chega na superfície da Terra. Isso acontece devido às janelas espectrais da atmosfera que permitem a passagem da radiação eletromagnética na faixa da luz visível e nas faixas das ondas de rádio. É também devido à atmosfera que as estrelas parecem mudar de lugar e de brilho no céu – **cintilação** – causada pela turbulência atmosférica.



Devido à refração temos a impressão que a estrela está mais alta no horizonte.

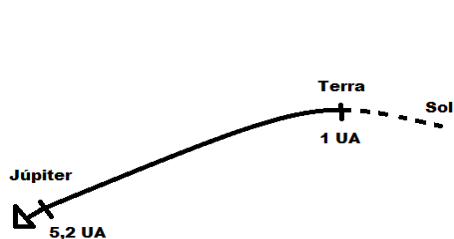
Na atmosfera também acontece o fenômeno da refração, desvio de um raio luminoso ao entrar em regiões com índices de refração diferentes, à medida que o raio penetra na atmosfera esta vai mudando de densidade e conseqüentemente de índice de refração provocando o encurvamento do raio.

### III. CONCEITOS BÁSICOS DE CINEMÁTICA ESCALAR

Vimos no capítulo anterior que para um corpo estar em movimento, em relação a um dado referencial, sua posição deve mudar com o passar do tempo em relação a esse referencial. Em nosso dia a dia, tomando como referencial a superfície da Terra, vemos inúmeros exemplos de corpos em movimento como pessoas, carros, aviões e ciclistas; para todos temos a posição mudando no decorrer do tempo, com uma diferença, a posição para uns muda bem mais rapidamente que para outros. Na física, aquela **grandeza** que informa com que rapidez a posição está mudando no decorrer do tempo é a **velocidade**.

Mas a velocidade também pode mudar com o passar do tempo e que grandeza informa com que rapidez a velocidade está mudando? A resposta a esta pergunta é a **aceleração**. Iniciaremos agora o estudo destas grandezas tão importantes para o estudo do movimento e da Física de uma maneira geral.

#### Velocidade média ( $v_m$ )



Voltemos as Voyager. Em sua viagem pelo sistema solar a

**GRANDEZA FÍSICA É TUDO  
AQUILO QUE PODEMOS  
MEDIR.**

Voyager 1 partiu da Terra, rumo a Júpiter, em 05 de setembro de 1977 chegando lá em 05 de março de 1979 (1,5 ano depois). A Terra fica, em média, a 1 UA de distância do Sol enquanto Júpiter fica, em média, a 5,2 UA do Sol; considerando que a Voyager 1 seguiu a trajetória mostrada na figura e que as distâncias foram medidas ao longo da trajetória temos que o deslocamento da

sonda, no intervalo de tempo  $\Delta t = 1,5$  ano, foi  $\Delta x = 5,2 \text{ UA} - 1,0 \text{ UA} = 4,2 \text{ UA}$ . Dividindo  $\Delta x$  por  $\Delta t$ , temos que em média a sonda percorreu 2,8 UA por ano; essa grandeza que mostra, em média, a variação na posição com o tempo é chamada de velocidade média.

Velocidade média,  $v_m$ , é o quociente entre o deslocamento ( $\Delta x$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) transcorrido durante esse deslocamento:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

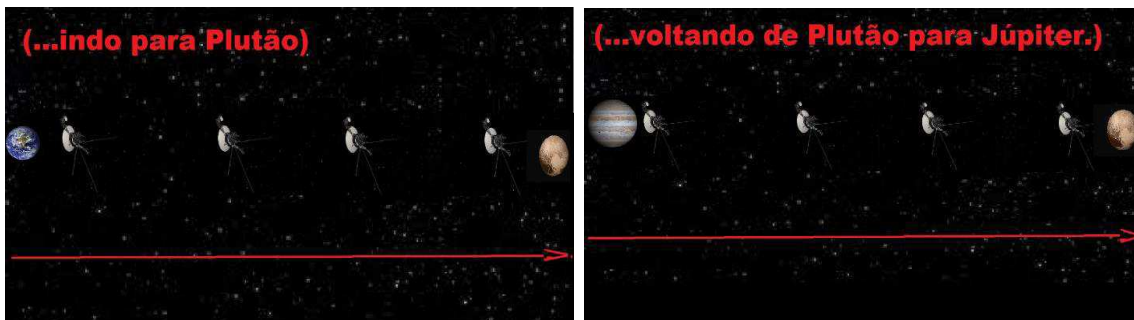
No exemplo dado encontramos a velocidade média em UA/a (unidades astronômicas por ano), no Sistema Internacional de Unidades (SI) a unidade para deslocamento,  $\Delta x$ , é o metro (m) e a unidade para intervalo de tempo,  $\Delta t$ , é o segundo (s), logo:

$$\text{unid SI (v)} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Estamos acostumados a usar a unidade quilômetro por hora (km/h) no nosso cotidiano; sendo, portanto, necessário uma maneira rápida e simples de conversão entre velocidades medidas em m/s e km/h, para tal, existe a seguinte regra prática:

$$(v_{\text{m/s}}) \times 3,6 = (v_{\text{km/h}}) \text{ ou } (v_{\text{km/h}}) \div 3,6 = (v_{\text{m/s}})$$

Da expressão para velocidade média, podemos inferir que se o móvel segue no sentido da trajetória,  $\Delta x > 0$ , sua velocidade média é positiva e classificamos seu movimento em **progressivo**; já quando seu movimento se dá em sentido



Na figura a sonda está indo para Plutão em movimento

Na figura a sonda está voltando de Plutão, em movimento retrógrado, para Júpiter.

oposto ao da trajetória,  $\Delta x < 0$ , sua velocidade média é negativa e classificamos seu movimento em **retrógrado**.

**Exemplo (1):** A velocidade de translação da Terra em torno do Sol é de aproximadamente 107 mil quilômetros por hora. Encontre essa velocidade em unidades SI, ou seja, m/s.

$$\text{Como: } v_{\text{m/s}} \times 3,6 = v_{\text{km/h}}$$

$$\therefore v_{\text{m/s}} \times 3,6 = 107\,000$$

$$\therefore v_{\text{m/s}} = \frac{107\,000}{3,6} \therefore v_{\text{m/s}} \cong 29\,700 \text{ m/s}$$

**Exemplo (2):** Encontramos a velocidade média da Voyager 1 na viagem da Terra a Júpiter em unidades astronômicas por ano, encontre essa velocidade em km/h, km/s e m/s.

Para realizarmos conversões entre outras unidades de velocidade que não m/s e km/h, utilizaremos a tática de “multiplicação por 1” e as relações abaixo:

$$1 \text{ km} = 1\,000 \text{ m}$$

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3\,600 \text{ s}$$

$$1 \text{ dia} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s} \quad (24 \times 3600 \text{ s})$$

$$1 \text{ ano} = 365,25 \text{ dias} = 8766 \text{ h} \quad (365,25 \times 24 \text{ h}) = 31\,557\,600 \text{ s} \quad (365,25 \times 24 \times 3600 \text{ s})$$

$$1 \text{ UA} = 1,5 \times 10^8 \text{ km} = 1,5 \times 10^{11} \text{ m} \quad (\text{valores aproximados para facilitar nossas continhas})$$

$$1 \text{ ano-luz} = 9,5 \times 10^{12} \text{ km} = 9,5 \times 10^{15} \text{ m} \quad (\text{valores aproximados para facilitar nossas continhas})$$

$$1 \text{ Parsec} = 3,1 \times 10^{16} \text{ m} \quad (\text{valores aproximados para facilitar nossas continhas})$$

Para converter  $v_{\text{Voyager 1}} = 2,8 \text{ UA/a}$  em km/h, multiplicamos por 1 da seguinte maneira:

$$v_{\text{Voyager}} = 2,8 \frac{\text{UA}}{\text{a}} \cdot \frac{1,5 \cdot 10^8 \text{ km}}{1 \text{ UA}} \cdot \frac{1 \text{ a}}{8\,766 \text{ h}}$$

Notem que:  $\frac{1,5 \cdot 10^8 \text{ km}}{1 \text{ UA}} = 1$  e  $\frac{1 \text{ a}}{8\,766 \text{ h}} = 1$ , logo temos:

$$v_{\text{Voyager}} = \frac{2,8 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}}{8\,766 \text{ h}}$$

$$\therefore v_{\text{Voyager}} = 4,8 \cdot 10^4 \text{ km/h}$$

Para converter  $v_{\text{Voyager 1}} = 2,8 \text{ UA/a} = 4,8 \cdot 10^4 \text{ km/h}$  em km/s, multiplicamos por 1 da seguinte maneira:

$$v_{\text{Voyager}} = 4,8 \cdot 10^4 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

Notem que:  $\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1$ , logo temos:

$$v_{\text{Voyager}} = \frac{4,8 \cdot 10^4 \text{ km}}{3,6 \cdot 10^3 \text{ s}}$$

$$\therefore v_{\text{Voyager}} = 13 \text{ km/s}$$

Para converter  $v_{\text{Voyager 1}} = 2,8 \text{ UA/a} = 4,8 \cdot 10^4 \text{ km/h} = 13 \text{ m/s}$ , em m/s, multiplicamos por 1 da seguinte maneira:

$$v_{\text{Voyager}} = 13 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot \frac{1\,000 \text{ m}}{1 \text{ km}}$$

Notem que:  $\frac{1\,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 1$ , logo temos:

$$v_{\text{Voyager}} = 13\,000 \text{ m/s}$$

---

**Velocidade instantânea (v)**

---

Ao calcularmos a velocidade média da Voyager 1, quando esta foi da Terra para Júpiter, encontramos  $v_m = 2,8 \text{ UA/a}$ , porém isso não significa que a sonda apresentou essa velocidade escalar durante todo o percurso, em cada instante da viagem. O valor da velocidade média fornece o valor médio da variação da posição num determinado intervalo de tempo,  $\Delta t$ , mas se estivermos interessados na variação da posição, por unidade de tempo, num instante específico,  $t$ , estamos procurando a **velocidade instantânea**,  $v$ . Por exemplo, o módulo da velocidade escalar instantânea de um automóvel é aquele valor fornecido pelo velocímetro.

Para calcularmos a velocidade num dado instante,  $t$ , calculamos o valor que o quociente  $\Delta x/\Delta t$  assumirá a medida que o intervalo de tempo,  $\Delta t$ , estiver tendendo a zero e, para tal, é necessário o uso do cálculo diferencial e integral que não abordaremos neste curso.

A velocidade instantânea,  $v$ , num dado instante,  $t$ , é expressa matematicamente por:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

### Aceleração média ( $a_m$ )

Um foguete, talvez como o que foi utilizado para lançar a Voyager 1 ao espaço, tem sua velocidade variando de zero, no momento de seu lançamento, até 600 m/s, 20 segundos depois. Podemos dizer que, em média, a sua velocidade instantânea variou 30 m/s a cada segundo, ou seja, sua **aceleração média** foi 30 m/s a cada segundo,  $30 \text{ m/s}^2$ . É importante ressaltar que o valor de  $30 \text{ m/s}^2$ , encontrado para a aceleração média do foguete, não garante que a cada segundo sua velocidade tenha aumentado 30 m/s.

A aceleração média,  $a_m$ , é o quociente entre a variação de velocidade instantânea ( $\Delta v$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) transcorrido durante essa variação na velocidade instantânea:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Como encontramos o valor da aceleração média a partir de um quociente entre variação de velocidade instantânea e intervalo de tempo, sua unidade de medida será dada pelo quociente entre unidades de medida de velocidade e unidades de medida de tempo.

$$\text{unid SI (a)} = \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \text{m/s}^2$$

Quando o módulo da velocidade instantânea de um ponto material está aumentando (ponto material cada vez mais rápido) seu movimento é chamado de **acelerado**; por outro lado, quando o módulo da velocidade instantânea de um ponto material está diminuindo (ponto material cada vez mais devagar) seu movimento é chamado de **retardado**. Quando não mudar o módulo da

velocidade instantânea,  $\Delta v = 0$ , a aceleração é constante e igual a zero e o movimento é dito **uniforme**.

É importante ressaltar que num movimento acelerado a velocidade e a aceleração têm o mesmo sinal, enquanto que num movimento retardado a velocidade e a aceleração têm sinais contrários.

**Note que:**

- $v > 0$  e  $a > 0$  ou  $v < 0$  e  $a < 0$ , **então: movimento acelerado.**
- $v > 0$  e  $a < 0$  ou  $v < 0$  e  $a > 0$ , **então: movimento retardado.**

---

### Aceleração instantânea (a)

---

Ao calcularmos a aceleração média do foguete, encontramos  $a_m = 30 \text{ m/s}^2$ , porém isso não significa que o foguete variou de 30 m/s sua velocidade instantânea em cada instante, esse valor é apenas uma média. O valor da aceleração média fornece a variação da velocidade instantânea num determinado intervalo de tempo,  $\Delta t$ , mas se estivermos interessados na variação da velocidade instantânea, por unidade de tempo, num instante específico,  $t$ , estamos procurando a **aceleração instantânea, a**.

Para calcularmos a aceleração num dado instante,  $t$ , calculamos o valor que o quociente  $\Delta v / \Delta t$  assumirá a medida que o intervalo de tempo,  $\Delta t$ , estiver tendendo a zero e, assim como no cálculo da velocidade instantânea, é necessário o uso do cálculo diferencial e integral que não abordaremos neste curso.

A aceleração instantânea,  $a$ , num dado instante,  $t$ , é expressa matematicamente por:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

## IV. RESUMO

- A constatação, em 1929, pelo astrônomo americano Edwin Hubble (1889-1953) de que as galáxias estavam se afastando uma das outras foi uma das primeiras evidências que levaram a teoria do Big Bang.
- Na teoria do Big Bang acredita-se que tudo (matéria e energia) no início dos tempos estava concentrado numa minúscula região quando, então, uma grande “explosão” aconteceu e o “inflow”.
- A teoria do Big Bang falha na explicação do que aconteceu no exato momento da explosão, porém, para o que veio logo depois tem grande sucesso.
- A comunidade científica acredita que a explicação para o exato momento da explosão será encontrada numa teoria que concilie a relatividade e a teoria quântica – a “Teoria de tudo”.
- Um dos primeiros a obter sucesso ao conciliar relatividade e teoria quântica foi o físico britânico Stephen Hawking (1942-) ao explicar a emissão de radiação por buracos negros.
- Com Big Bang surgiram os primeiros átomos estáveis (hidrogênio, hélio e lítio), que foram a matéria prima para a formação das primeiras estrelas e galáxias.
- A nossa Galáxia, Via Láctea, tem cerca de treze bilhões de anos, sendo uma galáxia espiral formada por cerca de 200 bilhões de estrelas.
- As galáxias são compostas basicamente de estrelas, poeira, gás e matéria escura; são classificadas de acordo com a sua forma em elípticas, espirais e irregulares.
- As estrelas surgem de nuvens de poeira e gás e realizam fusão nuclear.

- De acordo com a temperatura de sua superfície (classificação espectral), as estrelas são classificadas em sete grupos principais: O, B, A, F, G, K e M. Nosso Sol pertence a classe G.
- Aqueles planetas que orbitam outras estrelas são chamados de exoplanetas.
- Para um exoplaneta ser candidato a sustentar vida ele deve satisfazer inúmeras condições: orbitar um tipo adequado de estrela (que dure tempo suficiente para o surgimento de vida), ter água, estar na zona habitável de sua estrela (nem muito perto, nem muito longe), apresentar uma órbita pouco elíptica (estabilizando o clima), apresentar uma magnetosfera (para proteção contra o vento solar), inclinação do eixo de rotação (para a manutenção de um clima moderado) e presença de atmosfera.
- Para a astronomia moderna, uma constelação corresponde a uma determinada área da esfera celeste, um “pedaço do céu”. A União Astronômica Internacional (UAI) dividiu a esfera celeste em 88 constelações.
- A velocidade é a grandeza física que indica com que rapidez a posição do móvel está mudando.
- Velocidade média é o quociente entre o deslocamento ( $\Delta x$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) transcorrido durante esse deslocamento:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

- A unidade SI, para velocidade, é o metro por segundo (m/s).
- A velocidade instantânea,  $v$ , num dado instante,  $t$ , é expressa matematicamente por:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

- A aceleração é a grandeza física que indica com que rapidez a velocidade do móvel está mudando.
- A aceleração média,  $a_m$ , é o quociente entre a variação de velocidade instantânea ( $\Delta v$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) transcorrido durante essa variação na velocidade instantânea:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

- A unidade SI, para aceleração, é o metro por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ ).
- A aceleração instantânea,  $a$ , num dado instante,  $t$ , é expressa matematicamente por:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

## I. EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

### UNIVERSO

**EP1.** Sobre a teoria do Big Bang assinale a alternativa correta.

- O Universo teve seu início a cerca de 13,8 milhões de anos.
- Afirma que tudo que existe (matéria e energia), no início dos tempos, estava concentrado num ponto.
- Teve como uma de suas primeiras evidências o afastamento das galáxias.

d) Explica perfeitamente a evolução do Universo desde o momento exato de seu início (Big Bang).

e) Teve como uma de suas primeiras evidências a aproximação das galáxias.

**EP2.** A teoria do Big Bang não explica...

- a formação do sistema solar.
- a formação da Via Láctea.
- a expansão das galáxias.
- o exato momento da “explosão” que deu origem ao Universo.
- a formação de buracos negros.

**EP3.** Na “teoria de tudo” busca-se conciliar...



- a) relatividade e mecânica.
  - b) mecânica e cosmologia.
  - c) relatividade e química.
  - d) teoria quântica e termodinâmica.
  - e) teoria quântica e relatividade.
- EP4.** De acordo com a teoria do Big Bang, no processo de inflação houve:
- a) Formação de matéria.
  - b) Aumento no tamanho do Universo numa velocidade maior que a velocidade da luz.
  - c) Formação de prótons e nêutrons.
  - d) Formação das primeiras Galáxias.
  - e) Combinação de quarks.
- EP5.** Após a formação dos primeiros átomos estáveis os \_\_\_\_\_ passaram a circular livremente pelos cosmos na forma de \_\_\_\_\_ a chamada \_\_\_\_\_.
- A sequência correta para o preenchimento das lacunas é:
- a) elétrons, raios gama e erupção solar.
  - b) prótons, radiação infravermelha e radiação ultra-violeta.
  - c) fótons, raios X e teoria do Big Bang.
  - d) fótons, micro-ondas e teoria do Big Bang.
  - e) fótons, micro-ondas e radiação cósmica de fundo.
- EP6.** A comunidade científica estima que a idade do universo é de cerca de 13,8 bilhões de anos? Como se faz para estimar a idade do Universo?
- EP7.** As galáxias podem ser classificadas, de acordo com sua forma, em:
- a) circulares, triangulares e elípticas.
  - b) elípticas, espirais e irregulares.
  - c) elípticas, espirais e regulares.
  - d) circulares, retangulares e triangulares.
  - e) regulares e irregulares.

**EP8.** Assinale a alternativa que indica os componentes de que uma galáxia é formada.

- a) estrelas, poeira, gás e matéria escura.
- b) estrelas, poeira e gás.
- c) poeira e gás.
- d) estrelas e matéria escura.
- e) gás e matéria escura.

**EP9.** Um objeto só será chamado de estrela quando for capaz de realizar  **fusão nuclear**, caso não consiga iniciar a fusão nuclear será chamado de:

- a) Supernova.
- b) Buraco negro.
- c) Anã marrom.
- d) Estrela de nêutrons.
- e) Quasar.

**EP10.** Qual a classificação do nosso Sol de acordo com a classificação espectral, que leva em conta a temperatura da superfície da estrela?

- a) B1 b) O2 c) G1 d) G2 e) K1

**EP11.** A cor de uma estrela nos indica sua temperatura, assinale a alternativa que contém a cor de estrelas de maior temperatura?

- a) Azul
- b) Branco-azulado.
- c) Amarelo.
- d) Branco-amarelado.
- e) Vermelho.

**EP12.** Exoplanetas são...

- a) os planetas mais distantes do Sol no sistema solar.
- b) os planetas mais exóticos do sistema solar.
- c) os planetas mais próximos do Sol no sistema solar.
- d) planetas que não orbitam nenhuma estrela.
- e) planetas que orbitam outras estrelas.

**EP13.** Em geral, os planetas orbitam sua estrela girando todos no mesmo

plano e no mesmo sentido. Qual a explicação para isto?

**EP14.** Cite algumas condições que um exoplaneta deve satisfazer para que nele a vida se desenvolva.

**EP15.** Estrelas abortadas não conseguiram realizar fusão nuclear, ou seja, não são estrelas. O nome Quasar (quase stellar) também indica um objeto que não é estrela. O que é um Quasar?

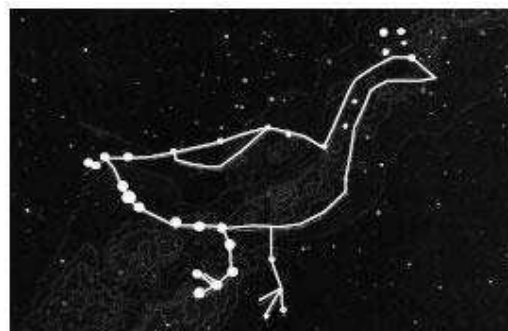
**EP16.** Cite algumas condições que um exoplaneta deve satisfazer para que nele se desenvolva vida.

**EP17.** Um dos componentes das galáxias é a matéria escura. O que é a matéria escura?

**EP18.** Qual a maior estrela conhecida e quantas vezes ela é maior que o Sol?

**EP19.** O surgimento da figura da Ema no céu, ao leste, no anoitecer, na segunda quinzena de junho, indica o início do inverno para os índios do sul do Brasil e o começo da estação seca para os do norte. É limitada pelas constelações de Escorpião e do Cruzeiro do Sul, ou Cut'uxu. Segundo o mito guarani, o Cut'uxu segura a cabeça da ave para garantir a vida na Terra, porque, se ela se soltar, beberá toda a água do nosso planeta. Os tupisguaranis utilizam o Cut'uxu para se orientar e determinar a duração das noites e as estações do ano.

A ilustração a seguir é uma representação dos corpos celestes que constituem a constelação da Ema, na percepção indígena.



Almanaque BRASIL, maio/2007 (com adaptações).

A próxima figura mostra, em campo de visão ampliado, como povos de culturas não-indígenas percebem o espaço estelar em que a Ema é vista.



Internet: <geocities.yahoo.com.br> (com adaptações).

Considerando a diversidade cultural focalizada no texto e nas figuras acima, avalie as seguintes afirmativas.

I A mitologia guarani relaciona a presença da Ema no firmamento às mudanças das estações do ano.

II Em culturas indígenas e não-indígenas, o Cruzeiro do Sul, ou Cut'uxu, funciona como parâmetro de orientação espacial.

III Na mitologia guarani, o Cut'uxu tem a importante função de segurar a Ema para que seja preservada a água da Terra.

IV As três Marias, estrelas da constelação de Órion, compõem a figura da Ema. É correto apenas o que se afirma em

- I.
- II e III.
- III e IV.
- I, II e III.
- I, II e IV.

## CONCEITOS BÁSICOS DE CINEMÁTICA ESCALAR

**EP20.** Converta para m/s:

- a) 36 km/h b) 54 km/h c) 70 km/h d) 900 km/h

**EP21.** Converta para km/h:

- a) 25 m/s b) 50 m/s c) 300 m/s d) 500 m/s

**EP22.** Encontrar um valor de 13 km/s para a velocidade média da *Voyager 1*, no percurso Terra-Júpiter, significa que:

- a) Certamente a *Voyager 1* percorreu 13 quilômetros a cada segundo.  
 b) Certamente a *Voyager 1* não ultrapassou a velocidade de 13 km/s.  
 c) A *Voyager 1* manteve constante a velocidade de 13 km/s.  
 d) A *Voyager 1* nunca parou.  
 e) A *Voyager 1* pode ter percorrido 13 quilômetros em cada segundo.

**EP23. (UFRN-mod.)** Uma das teorias para explicar o aparecimento do homem no continente americano propõe que ele, vindo da Ásia, entrou na América pelo Estreito de Bering e foi migrando para o sul até atingir a Patagônia, como indicado no mapa. Datações arqueológicas sugerem que foram necessários cerca de 10 000 anos para que essa migração se realizasse. O comprimento AB, mostrado ao lado do mapa, corresponde à distância de 5 000 km nesse mesmo mapa.



Com base nesses dados, pode-se estimar que a velocidade escalar média de ocupação do continente

americano pelo homem, ao longo da rota desenhada, foi de aproximadamente:

- a) 0,5 km/ano  
 b) 8,0 km/ano  
 c) 24 km/ano  
 d) 2,0 km/ano

**EP24.** No dia 16 de agosto de 2009, em Berlim, Usain Bolt percorreu os 100 metros rasos em 9,58 s estabelecendo o novo recorde mundial da prova. Determine qual a velocidade média de Usain Bolt durante essa prova em:

- a) m/s;  
 b) km/h;  
 c) km/s.

**EP25.** Calculamos a velocidade média da *Voyager 1*, no percurso Terra-Júpiter, e encontramos 13 km/s. Com esta velocidade média, em quanto tempo a *Voyager 1* percorrerá a distância de 1 ano-luz? Considere 1 ano-luz =  $9,5 \times 10^{12}$  km.

**EP26.** No percurso Terra-Júpiter, a *Voyager 2* levou praticamente o dobro do tempo que a *Voyager 1*. Considerando que ambas seguiram o mesmo trajeto pode-se afirmar que:

- a) A velocidade média da *Voyager 2* é maior que a da *Voyager 1*.  
 b) A velocidade média da *Voyager 2* é menor que a da *Voyager 1*.  
 c) A velocidade média da *Voyager 2* é igual a da *Voyager 1*.  
 d) A *Voyager 2* percorreu uma distância maior que a *Voyager 1*.  
 e) É possível que, em determinado instante, a *Voyager 2* tenha sido mais rápida que a *Voyager 1*.

**EP27.** Um motociclista percorre em três horas o trajeto entre duas cidades situadas, respectivamente, nos quilômetros 40 e 220 de uma mesma rodovia. Qual a velocidade escalar média do motociclista neste trajeto?

**EP28.** Um caminhão de entregas parte de sua base no km 320 de uma rodovia às 15 horas, e chega às 17 horas no km 200 da mesma rodovia, para sua primeira entrega. Às 17 horas e 30 minutos parte do km 200, para sua segunda entrega no km 155, chegando lá às 18 horas.

Calcule a velocidade média, em km/h, do caminhão:

- entre os instantes de saída da base e de chegada ao local de sua primeira entrega;
- no intervalo decorrido entre sua saída do km 200 e sua chegada no km 155;
- entre os instantes de saída da base e de chegada ao local de sua segunda entrega no km 155.

**EP29.** Considerando que o caminhão do exercício anterior encerrou suas entregas, no km 155, às 18 horas e trinta minutos, retornando imediatamente à sua base. Responda:

Que velocidade média mínima, em km/h, o caminhão deverá desenvolver para chegar à sua base até às 21 horas?

b) Qual a velocidade média do caminhão entre 15 e 21 horas? Considere que o caminhão retornou a base exatamente às 21 horas.

**EP30.** Um automóvel partiu de Pau dos Ferros-RN no km 152 da Br 405, às 7 h e 15 min, em direção à Apodi-RN localizada no km 72 da mesma rodovia. Qual a velocidade média do automóvel sabendo que chegou em Apodi às 8 h 05 min.

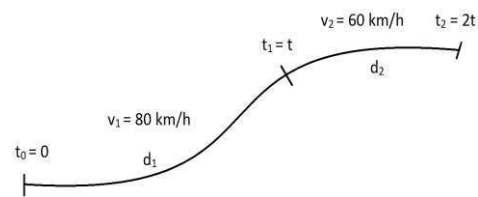
**EP31.** A raia mais interna de uma pista oficial de atletismo tem o comprimento de 400 m (mais próxima ao centro). Quantas voltas um certo atleta, correndo na raia mais interna de uma pista oficial e desenvolvendo uma

velocidade de média de 6,0 m/s, conseguirá completar em 13 min?

- 10
- 11
- 12
- 13
- 14

**ER1.** Numa viagem foi mantida uma velocidade escalar média de 80 km/h durante metade do tempo da viagem e de 60 km/h na metade restante. Qual a velocidade média durante toda a viagem?

**Resolução:**



Na primeira metade de duração da viagem temos:

$$v_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1}$$

Com:  $\Delta s_1 = d_1$  e  $\Delta t_1 = t - 0 = t$

$$\therefore v_1 = \frac{d_1}{t} \therefore d_1 = v_1 t, \text{ equação (1)}$$

No restante da viagem temos:

$$v_2 = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2}$$

Com:  $\Delta s_2 = d_2$  e  $\Delta t_2 = 2t - t = t$

$$\therefore v_2 = \frac{d_2}{t} \therefore d_2 = v_2 t, \text{ equação (2)}$$

Em todo percurso temos:

$$v_m = \frac{\Delta s_1 + \Delta s_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$$

$$\therefore v_m = \frac{d_1 + d_2}{t + t} = \frac{d_1 + d_2}{2t}, \text{ equação (3)}$$

Substituindo (1) e (2) em (3), temos:

$$v_m = \frac{v_1 t + v_2 t}{2t}$$

$$\therefore v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Como:  $v_1 = 80 \text{ km/h}$  e  $v_2 = 60 \text{ km/h}$

$$v_m = \frac{80 + 60}{2} = \frac{140}{2}$$

$$\therefore v_m = 70 \text{ km/h}$$

**EP32.** A metade da distância entre duas cidades foi percorrida a uma

velocidade média de 90 km/h e a outra metade a 60 km/h. Qual a velocidade média no percurso total entre as cidades?

**EP33.** Um automóvel partiu do km 50 de uma rodovia, exatamente às 10 h, desenvolvendo uma velocidade média de 60 km/h até as 10 h 20 min quando, então, seu pneu furou.

Considerando que os reparos foram feitos em 20 min e que a viagem foi retomada imediatamente, que velocidade média ele deverá manter nos 20 min seguintes para que sua velocidade média na primeira hora de viagem permaneça em 60 km/h?

**EP34.** Quando encontramos uma aceleração média de  $30 \text{ m/s}^2$  para um foguete, durante sua subida, isso significa que:

- Durante sua subida o foguete manteve uma velocidade de 30 m/s.
- Que o foguete leva 30 s para atingir sua velocidade máxima.
- O foguete percorre em média, na subida, 30 m por segundo.
- A velocidade do foguete aumenta, em módulo, 30 m/s a cada segundo.
- O foguete percorre espaços iguais em intervalos de tempo também iguais.

**EP35.** Em determinado instante a velocidade de uma partícula é de 13 m/s e, 4 s depois, sua velocidade escalar já mede 42 m/s.

Qual a aceleração média dessa partícula nesses 4 s?



[www.mistertube.com.br/](http://www.mistertube.com.br/)

de cerca de 72 km/h.

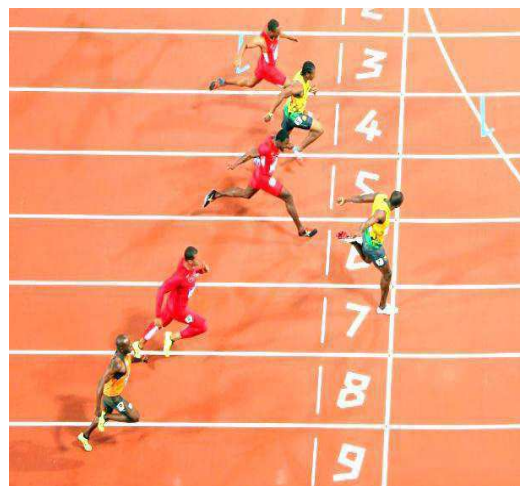
Qual a aceleração, em  $\text{m/s}^2$ , desse incrível animal?

**EP36.** Em 3,0 segundos um guepardo pode atingir uma velocidade

**EP37.** Um automóvel viajando a 72 km/h freia até parar em  $\frac{1}{12}$  min. Qual a sua aceleração média?

**EP38. (UFSC)** A figura mostra a vitória tranquila do atleta jamaicano Usain Bolt na final da prova dos 100 m, nas Olimpíadas de Londres, em 2012. Com uma margem de vantagem de 0,12 s para o segundo colocado, Bolt cruzou a linha de chegada superando as expectativas de alguns especialistas. Todavia, a prova dos 100 m é um movimento complexo que envolve diversas fases, desde a largada até a chegada, e nem sempre o vencedor lidera todas as etapas, como de fato ocorreu com Usain Bolt.

Na tabela abaixo, são apresentadas algumas informações sobre a prova, lembrando que o tempo de reação é o tempo que se passa entre o tiro de largada e o início do movimento do atleta.



Fonte: <<http://wsrunner.com.br/blog/?p=3014>>. Acesso em: 7 nov. 2012.

Com base nos dados da tabela, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

01. O módulo da velocidade média do atleta Usain Bolt durante a prova é de aproximadamente 10,38 m/s.

02. O módulo da velocidade instantânea máxima do atleta Yoham Blake é maior do que 10,25 m/s.

04. A aceleração constante que o atleta Tyson Gay deveria ter para completar a prova no tempo de 9,80 s é de aproximadamente  $2,08 \text{ m/s}^2$ .

08. No final da prova, o módulo da velocidade instantânea do atleta Ryan Bailey é maior do que o módulo da sua velocidade em relação ao vento.

16. O módulo da velocidade média do atleta Justin Gatlin no período que está efetivamente correndo é de aproximadamente 10,21 m/s.

Atleta (país)	Raia	Tempo de prova	Posição final	Tempo de reação
Richard Thompson (TRI)	2	9,98 s	7 <sup>º</sup>	0,160 s
Asafa Powell (JAM)	3	11,99 s	8 <sup>º</sup>	0,155 s
Tyson Gay (EUA)	4	9,80 s	4 <sup>º</sup>	0,145 s
Yoham Blake (JAM)	5	9,75 s	2 <sup>º</sup>	0,179 s
Justin Gatlin (EUA)	6	9,79 s	3 <sup>º</sup>	0,178 s
Usain Bolt (JAM)	7	9,63 s	1 <sup>º</sup>	0,165 s
Ryan Bailey (EUA)	8	9,88 s	5 <sup>º</sup>	0,176 s
Churandy Martina (HOL)	9	9,94 s	6 <sup>º</sup>	0,139 s
<i>Velocidade do vento: 1,50 m/s no mesmo sentido da velocidade dos atletas</i>				

## I. SUGESTÕES PARA FAZER, LER, VISITAR OU ASSISTIR...

### Atividades práticas

- Identificar céu, terra e horizonte sensível numa paisagem.

- Comparar observações de planetas e estrelas feitas pelo telescópio e ao olho nu.
- Observar a cintilação atmosférica.
- Observar a extinção da luz estelar perto do horizonte.
- Com a ajuda de uma lâmpada incandescente distinguir os conceitos de luminosidade e brilho.

### Revistas

- Astronomy – <http://astronomy.com/>
- Scientific American Brasil – <http://www2.uol.com.br/sciam/>
- Ciência Hoje <http://cienciahoje.uol.com.br/>

### Sítios

- Agência Espacial Brasileira <http://www.aeb.gov.br/>
- Observatório Nacional <http://www.on.br/>
- Planetários <http://www.planetarios.org.br/>
- Inpe – <http://www.inpe.br/>
- Nasa – <http://www.nasa.gov/>
- OBA – <http://www.oba.org.br/>
- Biblioteca Virtual de Astronomia <http://www.prossiga.br/astronomia/>

### Filmes

- 2001: Uma Odisséia no Espaço
- O Céu de Outubro
- Impacto Profundo
- Da Terra à Lua
- Cosmos (Carl Sagan)
- Cosmos (Neil deGrasse Tyson)
- Os Eleitos
- 1492 – A Conquista do Paraíso
- A volta ao Mundo em 80 Dias
- A Máquina do Tempo
- APOLLO 13

- O Planeta Vermelho
- O Núcleo – Missão ao Centro da Terra (2003)
- Guerra dos Mundos (1952) Marte
- Guerra dos Mundos (2005)
- Prometheus
- Interestelar
- Perdido em

## Capítulo 3: O Movimento dos Astros

### I. INTRODUÇÃO

A aventura das sondas gêmeas *Voyager* é apenas um exemplo da vontade que o ser humano tem de conhecer e entender o planeta em que vive, os astros que observa no firmamento e o Universo como um todo. Desde a antiguidade os mistérios do Universo vêm sendo investigados pelo homem e nosso lar no Universo, o planeta Terra, obviamente, foi um dos primeiros alvos destas investigações. Várias questões foram levantadas. Qual sua forma? Está ou não no centro do Universo? Obedece às mesmas leis que os outros astros? Neste capítulo teremos uma breve visão de como as ideias sobre o planeta Terra evoluíram ao longo do tempo.

Porém nosso planeta não foi dono de todas as atenções, aqueles “astros errantes” (planetas) que mudavam de posição em relação às estrelas fixas também se faziam notar e, por muito tempo, seus movimentos no céu permaneceram sem explicação satisfatória. Segredos que só começaram a ser desvendados no séc. XVII pelo matemático e astrônomo alemão **Johannes Kepler** (1571-1630). Kepler, a partir dos dados do famoso astrônomo de sua época, **Tycho Brahe** (1546-1601), foi o primeiro a mostrar, através de suas três leis do movimento planetário, como era o real movimento dos planetas em torno do Sol.

No entanto Kepler só deu o ponta pé inicial, as outras peças do quebra cabeça foram colocadas pelos grandes nomes que se seguiram a Kepler: **Galileu Galilei** (1564-1642), **Isaac Newton** (1642-1627) e **Albert Einstein** (1879-1955).

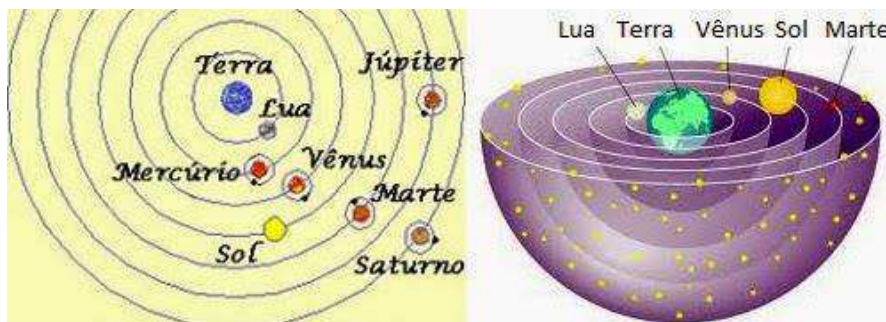
Vamos lá então, vislumbrar a jornada seguida pela humanidade na busca de um entendimento das características da Terra como planeta, de seu lugar no cosmos e, também, de como a Terra e os outros astros se movem em torno do Sol. Apertem os cintos!

### II. GEOCENTRISMO *versus* HELIOCENTRISMO

Desde a antiguidade que a Terra é investigada, sendo que uma das primeiras perguntas a se fazer sobre nosso lar no Universo tratava sobre sua forma. O fato de um navio, seguindo mar adentro, ir desaparecendo aos poucos e, por fim, seu mastro dava uma pista de que a Terra tinha uma curvatura. E, devido ao valor dado à matemática pelos gregos, passou-se a considerar a Terra esférica – a forma geométrica mais perfeita.

Bem, se a Terra é esférica qual seu raio? Essa foi a pergunta que se seguiu. E o sábio grego **Eratóstenes** (276 a.C.-194 a.C.) com base em observações e usando a geometria, dominada pelos gregos, respondeu com incrível precisão. Eratóstenes encontrou (note que ele viveu entre os séculos II e III antes de Cristo) para o raio da Terra o valor de 6 548 km. O valor hoje aceito é de 6 378 km.

Porém, um dos mais intrigantes mistérios envolvendo a Terra e que necessitou de séculos para



ser desvendado foi o de [Modelo das esferas de Eudóxo](http://astronomiapravoce.blogspot.com.br/). (Fonte: [astronomiapravoce.blogspot.com.br/](http://astronomiapravoce.blogspot.com.br/))

nosso planeta estar ou não no centro do Universo. A partir da crença na perfeição esférica e da percepção de um movimento circular das estrelas fixas e dos planetas, muitos aceitavam como melhor explicação para o que viam, que a Terra estava no centro do Universo e **Eudóxo de Cnido** (408 a.C.-355 a.C) chegou a elaborar um modelo de esferas concêntricas para representar o Universo **geocêntrico** (Terra no centro do Universo), porém seu modelo não explicava tudo que se observava.

Mas nem todos foram levados a aceitar o geocentrismo e, já na Grécia antiga, **Aristarco de Samos** (310 a.C.-230 a.C.) propôs que o Sol ocupava o centro do Universo e que a Terra tinha movimento de rotação, ideias que não foram bem aceitas.

Foi com **Aristóteles** (384 a.C.-322 a.C.) que o geocentrismo se estabeleceu. Aristóteles aperfeiçoou o modelo de Eudoxo acrescentando novas esferas e foi mais longe ao apresentar explicações sobre como “funcionava” o cosmos. Para Aristóteles, na Terra (esfera sublunar) as leis seguidas pela natureza diferiam daquelas seguidas pelos outros astros (esfera supralunar). Na Terra, imperfeição, e no mundo celeste perfeição.



[Cláudio Ptolomeu](http://constelar.com.br/)  
(Fonte: [constelar.com.br](http://constelar.com.br/))

O modelo aristotélico era aperfeiçoado em relação ao de Eudoxo mas ainda



[Ilustração do sistema ptolomaico.](#)

não explicava tudo que se observava sendo corrigido ao longo do tempo; a melhor correção ocorreu com a obra de **Cláudio Ptolomeu** (90-168) que explicava quase tudo que se podia explicar deixando a Terra fixa. No sistema ptolomaico os planetas giravam em círculos (epícciclos) cujos

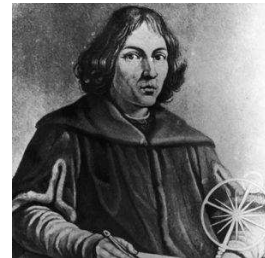


centros giravam, também em círculos (deferentes), em torno da Terra ou de um ponto muito próximo à Terra.

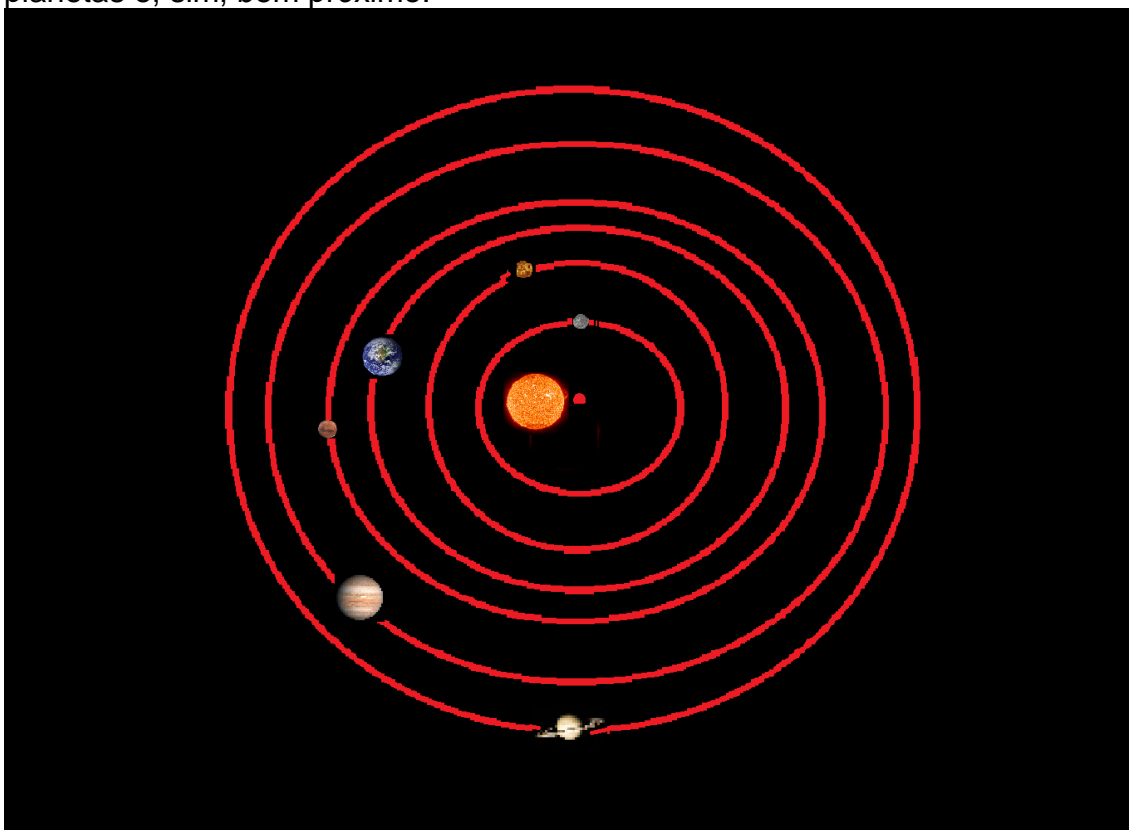
Apesar de complicado, o sistema ptolomaico descrito em sua obra **Almagesto** fazia previsões corretas de eclipses solares, lunares e explicava satisfatoriamente os movimentos celestes; tornando-se referência para astrônomos por vários séculos (até o início do séc. XVII).

Outro fator que contribuiu para a longa vigência do sistema ptolomaico foi a aceitação por parte da igreja desse modelo que concordava com a suposição aristotélica de que a Terra era fixa com os outros astros descrevendo círculos ao seu redor. Para a igreja, a Terra criada por Deus para abrigar o homem feito a sua imagem e semelhança não poderia estar em outro lugar que não no centro de toda a criação. Como aqueles que ousassem afirmar o contrário estariam cometendo uma heresia podendo, até, ser condenados a morte na fogueira (mesmo membros do clero), poucos tiveram a coragem de questionar tal ideia.

Um dos poucos a questionar o sistema ptolomaico foi o padre, matemático e astrônomo polonês **Nicolau Copérnico** (1473-1543). Para Copérnico o sistema que melhor explica as observações é aquele em que o Sol está fixo – **sistema heliocêntrico** - com os outros astros, inclusive a Terra, descrevendo círculos com velocidades angulares constantes, de maneira que, quanto mais distante o planeta está do Sol menor é a sua velocidade de translação. É importante ressaltar que, no sistema de Copérnico, os planetas têm órbitas excêntricas, ou seja, o Sol não está no centro dos círculos descritos pelos planetas e, sim, bem próximo.



*Nicolau Copérnico  
(Fonte: [biography.com/people/nicolaus-copernicus](https://www.biography.com/people/nicolaus-copernicus))*



Sistema heliocêntrico de Copérnico (Sol, planetas e distâncias fora de escala).

Mas dissemos anteriormente que contrariar a igreja era passível de punição com a morte e, o padre Copérnico conhecia esse risco melhor que ninguém, portanto Copérnico foi bem cauteloso na divulgação de seu trabalho; só compartilhava suas ideias com amigos e pessoas de confiança e adiou ao máximo a publicação de seu tratado *Sobre as Revoluções das Esferas Celestes* de maneira que recebeu o primeiro exemplar em seu leito de morte. Isso é que é ser cauteloso, não é?

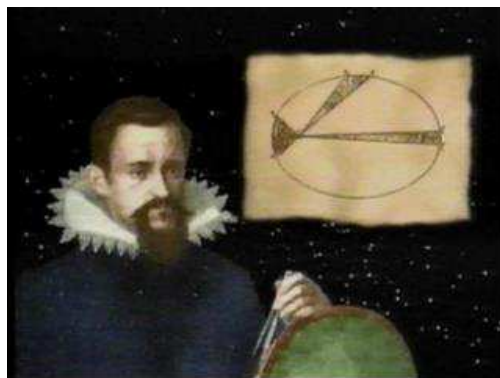
O sistema de Copérnico não foi prontamente aceito pela comunidade de estudiosos na época, pois colocar O Sol fixo e a Terra girando pressupõe que esta também descreve um movimento de rotação nos dando, então, a impressão de que os outros astros é que giram em torno da Terra. Aqueles contrários ao movimento de rotação argumentavam que se a Terra girasse, quando uma pedra fosse arremessada verticalmente para cima esta não voltaria ao mesmo lugar. **O problema que não se conhecia o princípio da inércia.**

Um dos que não se convenceram do modelo de Copérnico foi Tycho Brahe, o astrônomo a realizar as observações mais precisas antes da invenção do telescópio. De posse de suas anotações precisas, em décadas de observações, Tycho criou um modelo onde todos os planetas giravam em torno de Sol que, por sua vez e junto com a Lua, girava em torno da Terra.

Mas quem estava certo? Terra fixa no centro ou Sol fixo no centro? Em todos os modelos, as explicações não concordavam totalmente com as observações. Porém, em um ponto todos concordavam. As órbitas dos astros eram circulares. Pois é, justamente no consenso “morava” o erro.

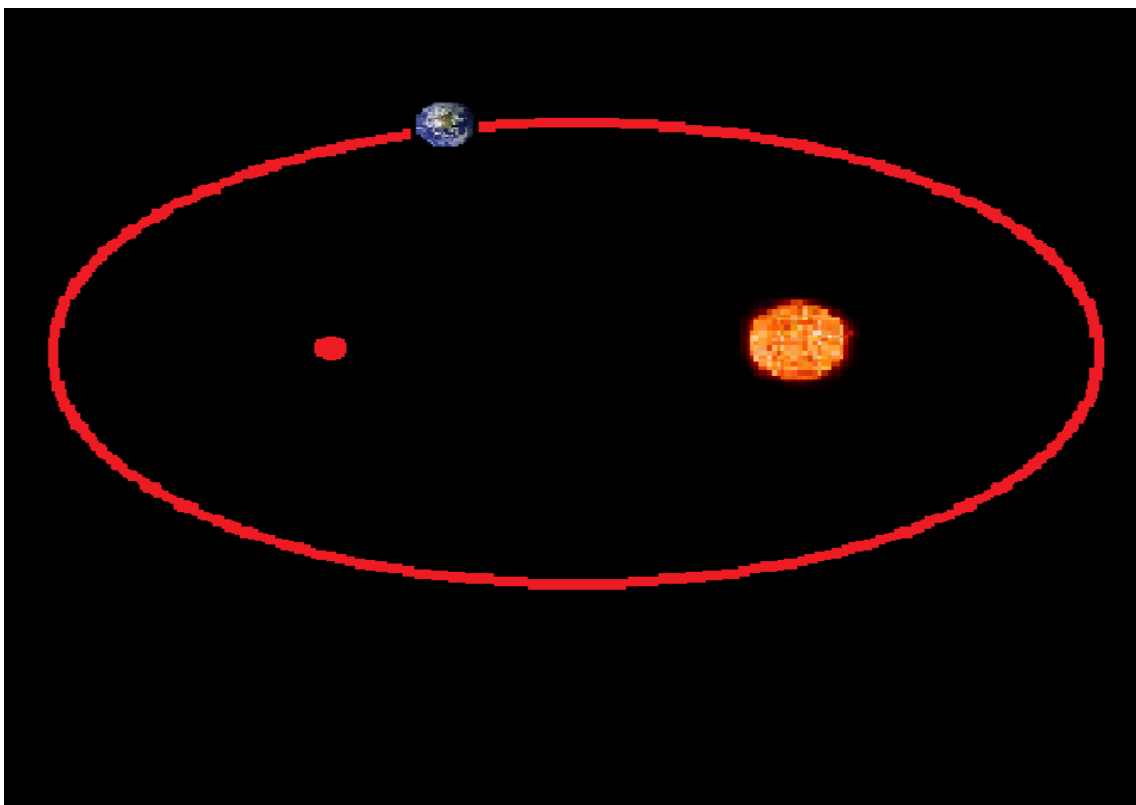
Quem desvendou o mistério foi um jovem matemático e astrônomo alemão, Johannes Kepler, contratado por Tycho. Kepler recebeu de Tycho, em 1601, a tarefa de determinar a órbita de Marte que não era explicada por nenhum dos modelos. Apesar da grande quantidade de dados herdados de Tycho, a tarefa não era simples e exigiu quase uma década para ser cumprida. Mas foi!

A explicação para Marte não concordar com nenhum dos modelos estava no fato de sua órbita ser elíptica e não circular. E, então, Kepler formulou sua primeira lei do movimento planetário:



Johannes Kepler (Fonte: astro.if.ufrgs.br)

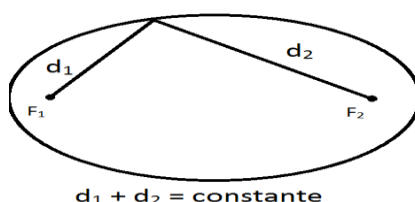
**1ª Lei de Kepler (Lei das Órbitas): Os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, localizado em um dos focos da elipse**



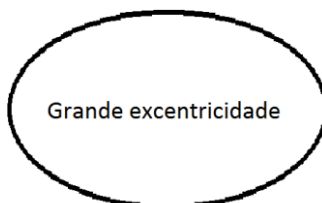
Nesta ilustração a órbita elíptica da Terra tem excentricidade exagerada por motivos didáticos. As distâncias e tamanhos dos astros não estão em escala.

**Note que:**

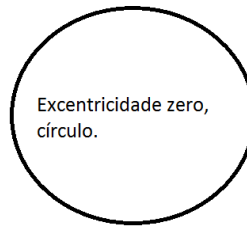
- **Em uma elipse a soma das distâncias de seus pontos a dois pontos fixos, os focos, é constante.**



- **Quanto mais próximos os focos estão, um do outro, menor é a excentricidade da elipse.**



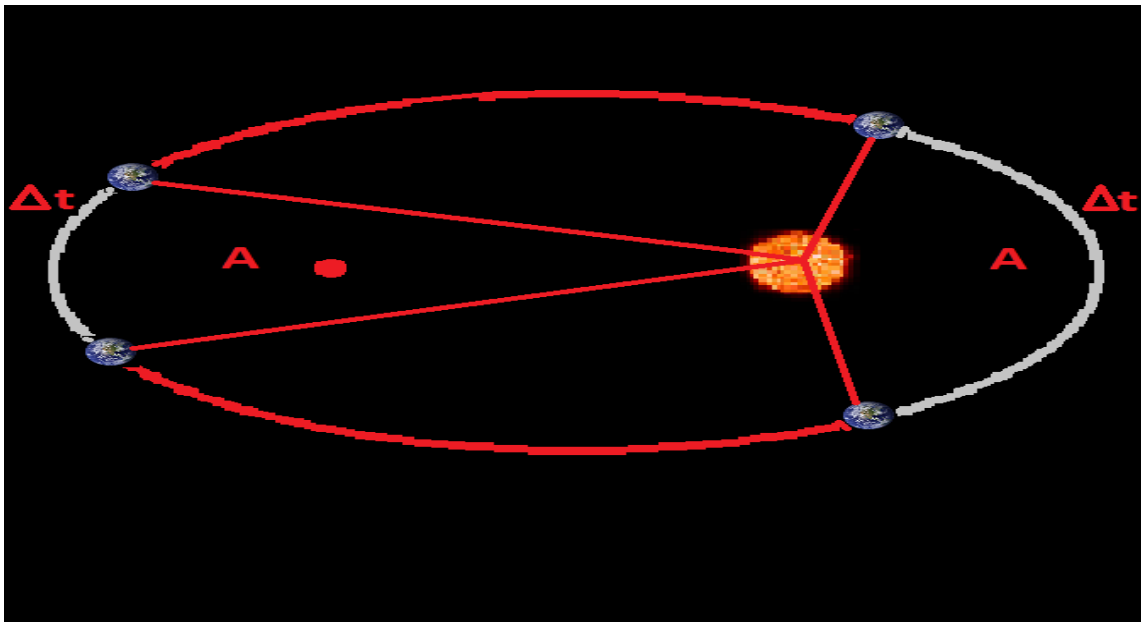
- **Num círculo temos uma elipse de excentricidade zero.**



- **As órbitas dos oito planetas do sistema têm excentricidade muito pequena, quase círculos.**

A partir dos dados que tinha em mãos, Kepler também descobriu que Marte aumentava sua velocidade quando aproximava-se do Sol e diminuía quando afastava-se, e concluiu:

**2ª Lei de Kepler (Lei das Áreas):** A linha que vai do planeta ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.



Nesta ilustração a Terra percorre áreas iguais em tempos iguais. As distâncias e tamanhos dos astros não estão em

**Note que:**

- **Para percorrer áreas iguais em tempos iguais o planeta Terra aumenta a velocidade orbital mais próximo do Sol, já que a distância a ser percorrida aumenta, e diminui a velocidade orbital quando está mais afastado do Sol pois nesse caso a distância a ser percorrida é menor.**
- **No caso particular de uma órbita circular o planeta tem velocidade orbital constante.**

Em 1619, dez anos após a publicação das duas primeiras leis, a terceira lei foi lançada por Kepler.

**3ª Lei de Kepler (Lei dos Períodos):** A razão entre o quadrado dos períodos e o cubo da distância média dos planetas ao Sol é constante.

$$\frac{T^2}{D^3} = k$$

Onde:

T = Período de translação do corpo (tempo para dar uma volta em torno do Sol).

D = A distância média do planeta ao Sol.

k = Constante cujo valor depende das unidades de T e D

# Você, astrônomo!

## Terra!

Como vimos na seção “Você, astrônomo” do capítulo anterior, é no céu que acontecem os fenômenos astronômicos, e vimos também que nosso planeta apresenta movimento de rotação; esse movimento de rotação exerce influência nas observações astronômicas.

Ao nos dedicarmos à observação noturna por um longo período de tempo percebemos um movimento das estrelas pelo firmamento e, durante o dia não é diferente, o Sol aparece na região leste e segue uma travessia até se pôr na



Pêndulo de Foucault no Panteon de Paris  
(Fonte: [turismodeparis.com/panteon-paris](http://turismodeparis.com/panteon-paris))

região oeste. Na verdade, esse movimento dos astros que observamos é apenas o reflexo de nosso próprio movimento de rotação sendo designado pelos astrônomos de movimento aparente os astros.

Da simples observação do movimento dos astros não dá para atestar se a Terra está girando de oeste para leste, ou se os astros estão girando de leste para oeste. Um experimento clássico conhecido como pêndulo de Foucault mostra que a Terra é que está girando de oeste para leste.

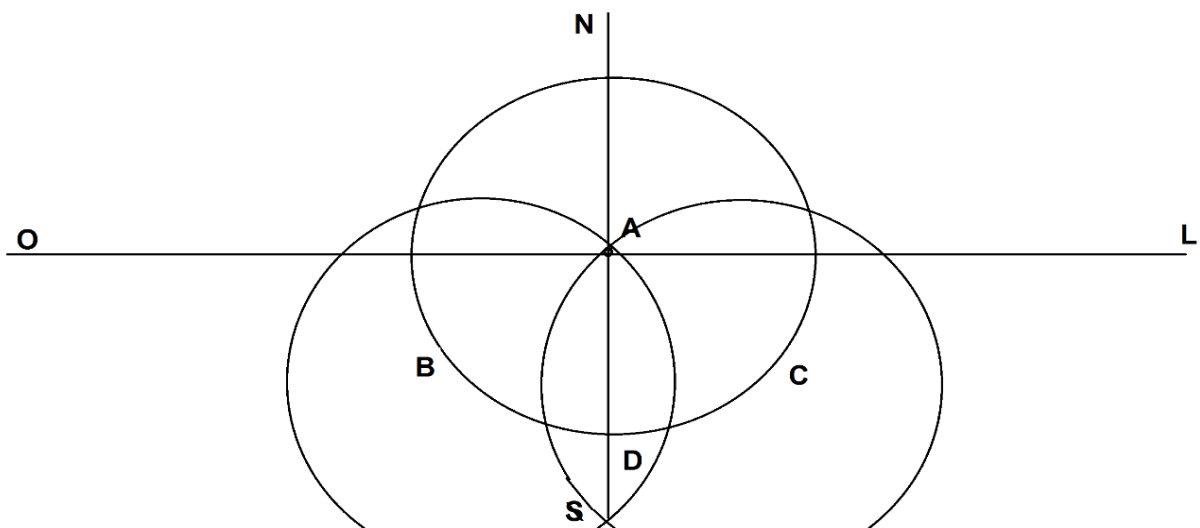
Em 1851, o astrônomo francês **Jean Bernard Leon Foucault** (1819-1868) pôs uma esfera de ferro de 28 kg a oscilar em movimento pendular fixa no teto do Panteon de Paris; no experimento o plano do pêndulo apresentou uma pequena rotação no sentido horário facilmente explicada se supormos que a Terra gira em torno de seu eixo. O experimento está baseado na invariância do plano de oscilação do pêndulo, ou seja, o pêndulo sempre oscila no mesmo plano; como a Terra gira, o plano de oscilação mudará sua orientação em relação ao solo.

O período de rotação da Terra não é exatamente 24 horas mas 23 horas, 56 minutos e 4 segundos. O período de 24 horas corresponde ao **dia solar médio**, muito mais prático já que os dias solares verdadeiros são desiguais. Afinal, não dá para ficar acelerando ou retardando nossos relógios de acordo com o dia solar mais curto ou mais longo. Para medirmos o verdadeiro período de rotação da Terra devemos medir o tempo necessário para que uma estrela distante cruze duas vezes sucessivas o meridiano do observador – **dia sideral**. Bem, a Terra gira de oeste para leste. Mas onde fica o leste, o oeste, o norte e o sul? Como determinamos os pontos cardeais? Cabe aqui uma ressalva, o termo **pontos** não é adequado pois tratamos de direções. Um método simples

e diurno para a determinação dos pontos cardeais exige apenas o uso de uma haste vertical com cerca de 1 m, o **gnômon**.

Procedimento de determinação dos pontos cardeais com o uso de um gnômon:

- 1- Finque o gnômon, no chão horizontal, em A.
- 2- Antes do meio-dia, marque no chão a extremidade da sombra projetada pelo gnômon, ponto B.
- 3- Trace um círculo centrado em A com raio AB.
- 4- Espere até que a sombra do gnômon, após o meio-dia, toque o círculo traçado, no ponto C.
- 5- Agora desenhe dois círculos centrados em B e C, que irão se interceptar em A e em D.
- 6- Pronto! A direção do segmento AD é a direção norte-sul e a direção perpendicular a AD é a direção leste-oeste.



O Sol e a maioria dos planetas do sistema solar também apresentam movimento de rotação de oeste para leste - rotação direta. As exceções são os planetas Vênus e Urano que apresentam rotação retrógrada.

### III. MOVIMENTO UNIFORME



Voyager 1 (Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

A Voyager 1 fora do sistema solar desde 2012, longe do Sol e de outras estrelas, ou seja, livre de qualquer influência gravitacional e um satélite artificial geoestacionário, orbitando nosso planeta submetido à sua gravidade, têm em seus movimentos um ponto em comum, o módulo da velocidade permanece constante.

A este tipo de movimento, em que a velocidade escalar não muda, damos o nome de **Movimento**

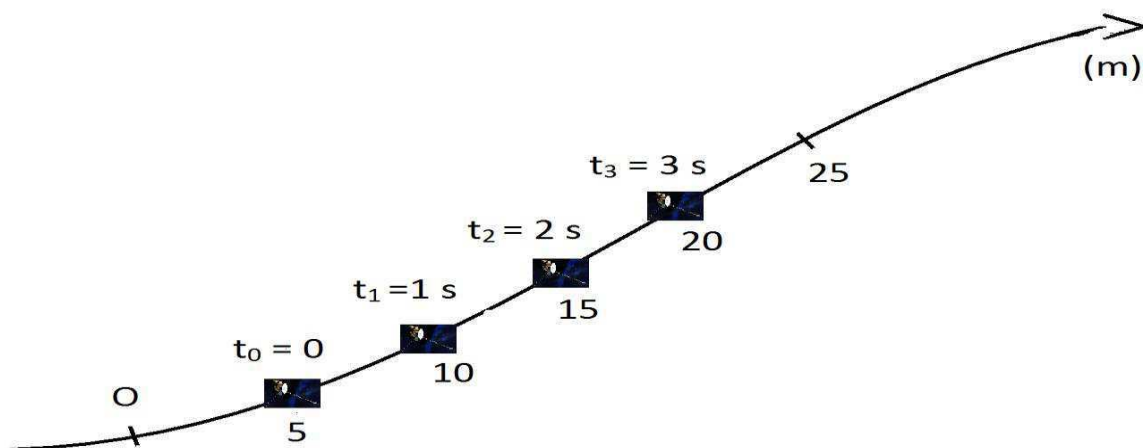
**Uniforme (MU).** Note que com o módulo da velocidade constante, o móvel percorrerá distâncias iguais em intervalos de tempo também iguais.

Movimento Uniforme (MU) é aquele movimento em que o módulo da velocidade é constante e diferente de zero

Sem muito esforço, encontramos exemplos de movimento uniforme ao nosso redor: o movimento dos ponteiros de um relógio, um automóvel com velocidade constante, o movimento do metrô num trecho entre duas estações e de um elevador na maior parte do tempo em que se move. Não obstante, na Física o movimento uniforme também é frequente como, por exemplo, na propagação de ondas eletromagnéticas em meios homogêneos. A partir de agora daremos início ao estudo do movimento uniforme, um movimento tão simples quanto importante no estudo da Física.

### Função horária da posição para o MU

Na figura acima a pequena sonda está em movimento uniforme, percorrendo



distâncias iguais em intervalos de tempo iguais, com uma velocidade constante de 5,0 m/s, de tal forma que em:

$$t_0 = 0, \quad x_0 = 5 \text{ m}$$

$$t_1 = 1 \text{ s}, \quad x_1 = 10 \text{ m} = 5 + 5 \cdot 1$$

$$t_2 = 2 \text{ s}, \quad x_2 = 15 \text{ m} = 5 + 5 \cdot 2$$

$$t_3 = 3 \text{ s}, \quad x_3 = 20 \text{ m} = 5 + 5 \cdot 3$$

Nota-se claramente, que para encontrarmos a posição,  $x$ , da sonda em determinado instante,  $t$ , somamos à posição inicial,  $x_0$ , o produto  $vt$ .

Podemos chegar a essa conclusão de uma maneira mais rigorosa. Como o movimento é uniforme a velocidade média,  $v_m$ , em qualquer intervalo de tempo, sempre será igual a velocidade instantânea,  $v$ , ou seja,

$$v_m = v$$

Como:  $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

$$\therefore v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0}, \quad x_0 = \text{posição em } t_0 \text{ (origem dos tempos)}$$

Fazendo  $t_0 = 0$ , temos:

$$v = \frac{x - x_0}{t}$$

$$\therefore x - x_0 = vt$$

$$\therefore x = x_0 + vt$$

Na expressão acima encontramos a posição como função do tempo sendo, então, chamada de função horária da posição.

A função horária dos espaços para o movimento uniforme (MU) é dada pela expressão:

$$x = x_0 + vt$$

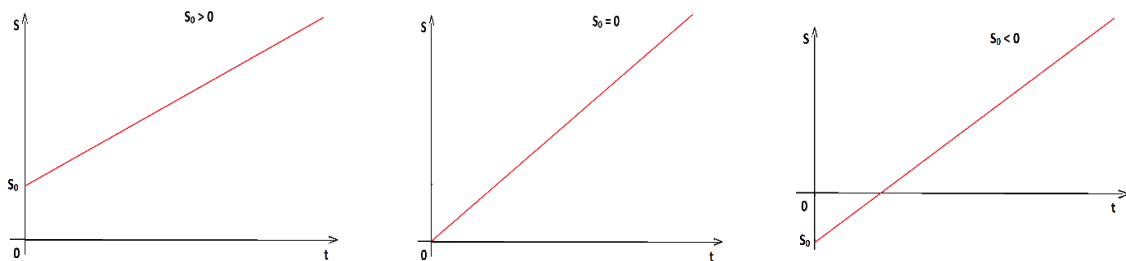
Note que:

- Com a função horária da posição podemos encontrar a posição em qualquer instante do movimento.
- Para encontrar a função horária da posição para o MU precisamos conhecer a posição inicial,  $x_0$ , e a velocidade,  $v$ , do móvel.
- A função horária da posição para o MU é do primeiro grau na variável  $t$ .

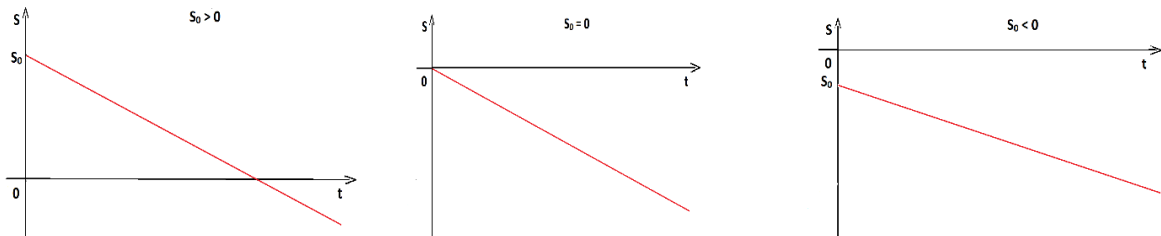
### Gráfico da posição em função do tempo para o MU

A representação gráfica da posição de um móvel em função do tempo é uma ferramenta poderosa para a identificação das características do movimento desse móvel. Para um móvel em **MU**, cuja função horária é do primeiro grau em  $t$ , a representação gráfica é um segmento de reta inclinado em relação aos eixos das posições e dos tempos e, de acordo com a posição inicial e velocidade, pertencerá a um dos casos a seguir:

#### 1º caso: Móvel em movimento uniforme e progressivo ( $v > 0$ )



#### 2º caso: Móvel em movimento uniforme e retrógrado ( $v < 0$ )

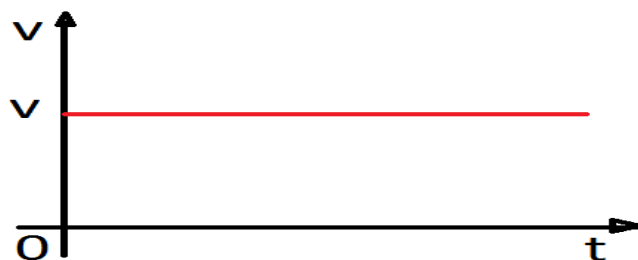


### Gráfico da velocidade em função do tempo para o MU



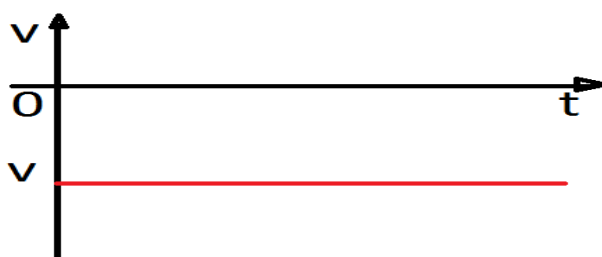
O gráfico da velocidade em função do tempo para o MU é de fácil construção. Como a velocidade instantânea é constante ao longo do tempo teremos uma reta paralela ao eixo dos tempos.

**1º caso: Móvel em movimento uniforme e progressivo ( $v > 0$ )**

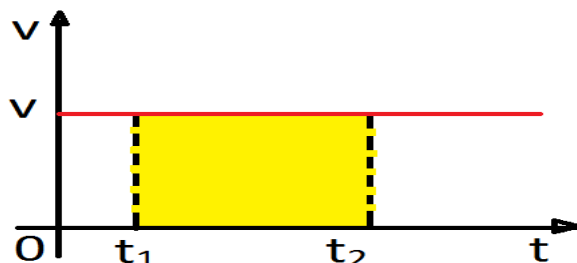


**2º caso: movimento uniforme e retrógrado ( $v < 0$ )**

Móvel em



Considere o gráfico da velocidade,  $v$ , em função do tempo,  $t$ , para o MU abaixo, onde está destacada uma região retangular entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .



Calculando a área da região retangular encontramos:

$$A = \text{base} \times \text{altura} = (t_2 - t_1)v$$

$$\therefore A = \Delta tv, \text{ equação (1)}$$

Como, no MU, a velocidade instantânea é igual a velocidade média ( $v_m = v$ ):

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\therefore \Delta x = \Delta tv, \text{ equação (2)}$$

Comparando (1) e (2), temos:

$$A = \Delta s$$

O valor encontrado para “área”, a partir do gráfico, não tem o mesmo significado da área da figura plana (no caso, o retângulo), já que é o resultado do produto de velocidade por tempo, ou seja não tem dimensão de área e sim de comprimento. Por isso o uso das aspas.

A “área” entre o gráfico e o eixo dos tempos, entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ , no gráfico da velocidade,  $v$ , contra o tempo,  $t$ , fornece a variação da posição (deslocamento) entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

$$A = \Delta x$$

### Gráfico da aceleração em função do tempo para o MU

No movimento uniforme a velocidade é constante, não muda, logo a grandeza que indica com que rapidez a velocidade,  $v$ , muda – a aceleração – terá valor zero. Graficamente, a representação da aceleração,  $a$ , em função do tempo,  $t$ , fica:



## IV. MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

No início da seção III deste capítulo fizemos menção ao movimento de um satélite artificial geoestacionário em órbita de nosso planeta, como sendo um movimento uniforme por apresentar o módulo de sua velocidade constante. Porém, devido sua trajetória ser circular seu movimento se enquadra na classificação de **Movimento Circular Uniforme (MCU)**, um tipo de movimento uniforme bastante presente ao nosso redor; as hélices de um ventilador e de um liquidificador, os ponteiros de um relógio, as engrenagens de diversas máquinas realizam MCU.

Não obstante, esse movimento também tem extrema relevância para aqueles que pretendem estudar física por estar presente em inúmeros fenômenos físicos como por exemplo no movimento de partículas eletrizadas lançadas perpendicularmente em uma região de campo magnético uniforme e constante, no movimento de cada planeta em torno do Sol ou de cada Lua em torno de seu planeta que com boa aproximação podem ser considerados exemplos de MCU e, como já mencionamos, no movimento de satélites geoestacionários.

### Período (T) e frequência (f) no MCU

O movimento circular uniforme é um movimento periódico, ou seja, o móvel repete seu movimento em intervalos de tempo iguais. E, ao estudarmos movimentos periódicos, é de fundamental importância conhecermos o intervalo de tempo necessário para que o movimento se repita, o período de seu movimento, **T**. O período representa um intervalo de tempo e, como tal, é medido em uma unidade de medida de tempo.

$$\text{unid SI (T)} = \text{s}$$

O período,  $T$ , em um movimento circular uniforme é o intervalo de tempo,  $\Delta t$ , necessário para o móvel completar uma volta

Também é importante conhecermos quantas repetições são realizadas em uma determinada unidade de tempo, ou seja, a frequência do movimento, **f**. São unidades de medida de frequência, rotações por minuto (rpm) e rotações por segundo (rps) denominada hertz (Hz), sua unidade SI.

$$\text{unid SI (f)} = \text{rps} = \text{Hz} = \text{s}^{-1}$$

A frequência,  $f$ , em um movimento circular uniforme é o número de voltas que o móvel completa por unidade de tempo.

Para um móvel que realizou  $n$  voltas num intervalo de tempo  $\Delta t$ , a frequência é calculada dividindo-se o número de voltas,  $n$ , pelo intervalo de tempo,  $\Delta t$ :

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

Para um móvel que realizou 1 volta num intervalo de tempo  $\Delta t$ , a frequência será dada por:

$$f = \frac{1}{\Delta t}$$

Mas o tempo para completar uma volta é o período,  $T$ , logo:

$$f = \frac{1}{T}$$

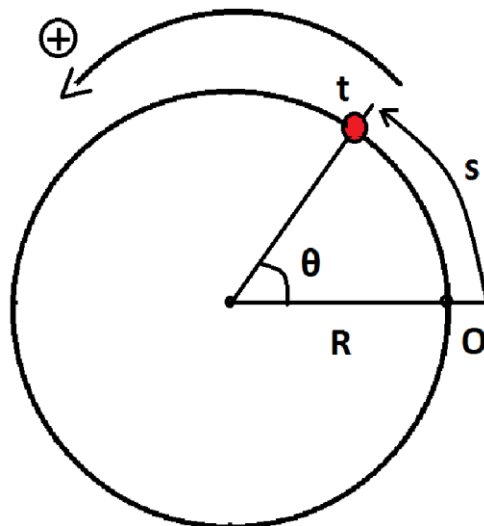
---

### Cinemática Angular

---

No capítulo 1, definimos a posição de uma partícula como sendo sua distância orientada medida na sua própria trajetória, e por ser, a posição, uma medida de comprimento podemos denominá-la de posição linear  $e$ , em decorrência, teremos as grandezas velocidade linear (média ou instantânea) e aceleração linear (média ou instantânea).

Na figura abaixo, uma partícula descreve um movimento sobre uma trajetória circular de raio  $R$  e ocupando a posição,  $x$ , no instante  $t$ , em relação à origem  $O$  sobre a circunferência.



Podemos perfeitamente associar à posição da partícula o ângulo  $\theta$ , com vértice no centro da circunferência, medido a partir do raio que passa por  $O$  até o raio que passa pela partícula.

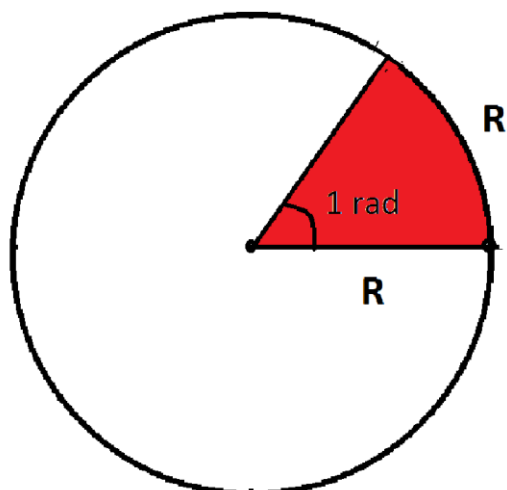
Esse ângulo  $\theta$  é chamado de posição angular ou fase da partícula no instante  $t$ .

Posição angular ou fase,  $\theta$ , de um ponto material é o ângulo medido entre o raio que passa pela origem das posições,  $O$ , marcada sobre a circunferência e o raio que passa pela partícula.

Ângulos podem ser medidos em graus ( $^\circ$ ) ou em radianos:

$$1^\circ = \frac{1}{360} \text{ de uma volta completa de uma circunferência}$$

Um radiano (rad) corresponde a medida do ângulo central cujo arco correspondente ( $x$ ) tem o mesmo comprimento do raio ( $R$ ) da circunferência:



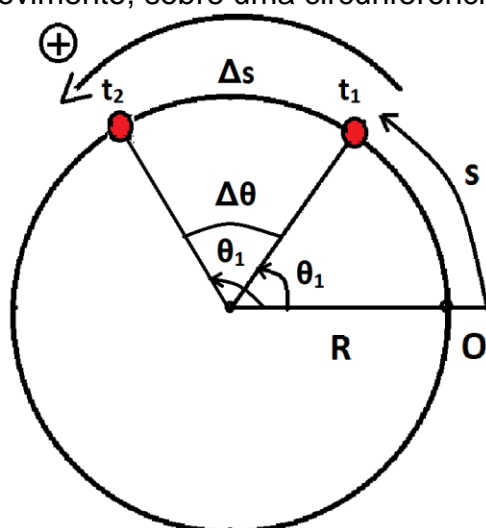
Da definição de radiano, um ângulo central será dado em radianos ao dividirmos o comprimento do arco correspondente ( $x$ ) pelo raio ( $R$ ) da circunferência, logo, se  $x$  representar o a posição linear da partícula e  $\theta$  a posição angular, a relação entre o espaço angular e o espaço linear será dada por:

$$\theta = \frac{x}{R}$$

**Note que:**

- A relação acima só é válida para  $\theta$  medido em radianos.
- O radiano não tem dimensão física já que é o resultado do quociente de um comprimento por outro. Mas convém evidenciar escrevendo, por exemplo,  $\theta = 2 \text{ rad}$  e não, simplesmente,  $\theta = 2$ .

Na figura abaixo estão representadas as posições angulares ocupadas por um ponto material em movimento, sobre uma circunferência, nos instantes  $t_1$  e  $t_2$ .



O deslocamento angular,  $\Delta\theta$ , correspondente ao deslocamento linear,  $\Delta x$ , é dado por:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

O quociente do deslocamento angular,  $\Delta\theta$ , pelo intervalo de tempo,  $\Delta t$ , decorrido para realizá-lo nos indica como, em média, variou a posição angular no decorrer do tempo; sendo chamado de velocidade média angular,  $\omega_m$ .

A velocidade média angular,  $\omega_m$ , é o quociente entre a variação de espaço angular ( $\Delta\theta$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) transcorrido durante essa variação de espaço angular:

$$\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

A unidade SI para a velocidade angular é o radiano (rad) por segundo (s):

$$\text{unid SI } (\omega) = \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \text{s}^{-1}$$

Na figura anterior e da definição de radiano, temos:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta x}{R}, \text{ equação (1)}$$

Vimos que:  $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

$$\therefore \Delta x = v_m \Delta t, \text{ equação (2)}$$

Comparando as equações (1) e (2):

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \frac{v_m \Delta t}{R} \\ \therefore \frac{\Delta\theta}{\Delta t} &= \frac{v_m}{R} \end{aligned}$$

Como:  $\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

$$\therefore \omega_m = \frac{v_m}{R}$$

Para calcularmos a velocidade angular num dado instante,  $t$ , calculamos o valor que o quociente  $\Delta\theta/\Delta t$  assumirá a medida que o intervalo de tempo,  $\Delta t$ , estiver tendendo a zero e, para tal, é necessário o uso do cálculo diferencial e integral que não abordaremos neste curso.

A velocidade angular instantânea,  $\omega$ , num dado instante,  $t$ , é expressa matematicamente por:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

A relação que encontramos para as velocidades média angular e média linear também é válida para as velocidades instantâneas, assim:

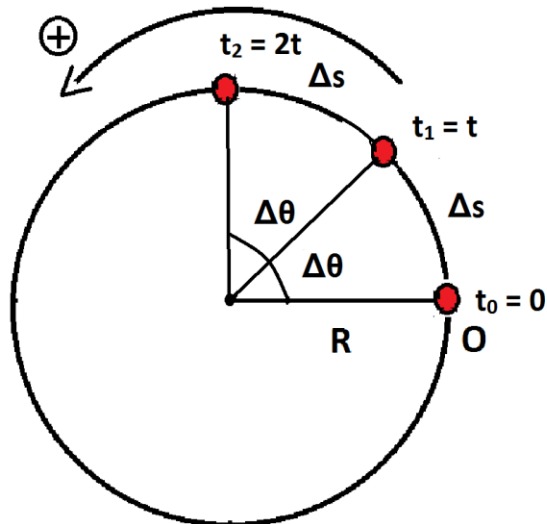
$$\omega = \frac{v}{R}$$

---

### Movimento Circular Uniforme (MCU)

---

No movimento circular uniforme, o móvel descreve uma trajetória circular percorrendo arcos iguais em tempos iguais, ou seja, sua velocidade escalar angular é constante. Consequentemente, o móvel também cobre ângulos iguais em tempos iguais – velocidade escalar angular constante.



No MCU, a velocidade média angular,  $\omega_m$ , e a velocidade instantânea angular,  $\omega$ , são iguais.

$$\omega_m = \omega$$

Como:  $\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

$$\therefore \omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta - \theta_0}{t - t_0}$$

Fazendo  $t_0 = 0$ , temos:

$$\omega = \frac{\theta - \theta_0}{t}$$

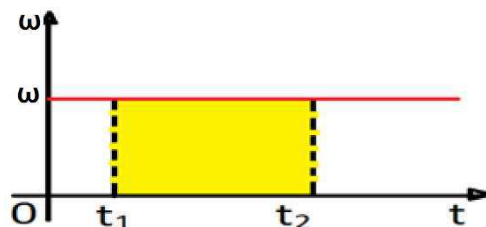
$$\therefore \theta - \theta_0 = \omega t$$

$$\therefore \theta = \theta_0 + \omega t$$

A função horária da posição angular para o movimento circular uniforme (MCU) é dada pela expressão:

$$\theta = \theta_0 + \omega t$$

Semelhante ao gráfico da velocidade linear instantânea em função do tempo, a “área” entre o gráfico da velocidade angular instantânea e o eixo dos tempos nos fornece o deslocamento angular do móvel.



A “área” destacada entre o gráfico e o eixo dos tempos, entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ , no gráfico da velocidade angular,  $\omega$ , contra o tempo,  $t$ , fornece a variação da posição angular entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

$$A = \Delta\theta$$

Lembrando que no MCU:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Para uma partícula que completou uma volta,  $\Delta\theta = 2\pi$  rad e  $\Delta t = T$ , teremos:

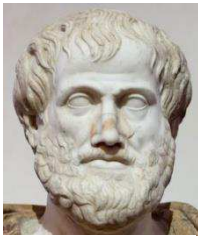
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Como:  $f = \frac{1}{T}$

$$\therefore \omega = 2\pi f$$

## Leitura complementar

### Aristóteles, Galileu Galilei e o movimento...



Busto de Aristóteles  
(<https://pt.wikipedia.org/>)

O movimento é alvo de estudo desde a antiguidade tendo como expoente Aristóteles (384-322 a.C.) cujas ideias foram aceitas quase sem contestação até o séc. XVII, quando o físico, matemático, astrônomo e filósofo Galileu Galilei (1564-1642) “ousou” contestá-las.

Para Aristóteles, o movimento poderia acontecer de forma forçada, **movimento violento**, quando o corpo é retirado de seu estado natural (uma pedra é erguida), ou poderia acontecer de forma **natural**, quando o corpo procura seu lugar no mundo (a pedra solta procura o chão), assim, quanto mais pesada era

a pedra, mais rapidamente esta procuraria o chão. Ainda segundo Aristóteles, a Terra era fixa caso contrário quando saltássemos verticalmente não cairíamos no mesmo lugar; logo os astros giravam em torno da Terra sendo esta o centro do Universo (modelo geocêntrico), ideia que concordava e reforçava as doutrinas da Igreja Católica durante a Idade Média.

Dissemos anteriormente que Galileu ousou, ousou porque ir contra o pensamento aristotélico se caracterizava em uma afronta à Igreja Católica e afrontar a igreja, na Idade Média, não era muito aconselhável, na verdade era quase suicídio. Por esta razão Nicolau Copérnico (1473-1543), um dos grandes influenciadores de Galileu, adiou o quanto pôde a publicação de sua obra *Sobre as Revoluções das Esferas Celestes* (recebeu o primeiro exemplar em seu leito de morte), na qual sustentava que a melhor explicação para o movimento dos astros era aquela em que todos, inclusive a Terra, orbitavam o Sol.

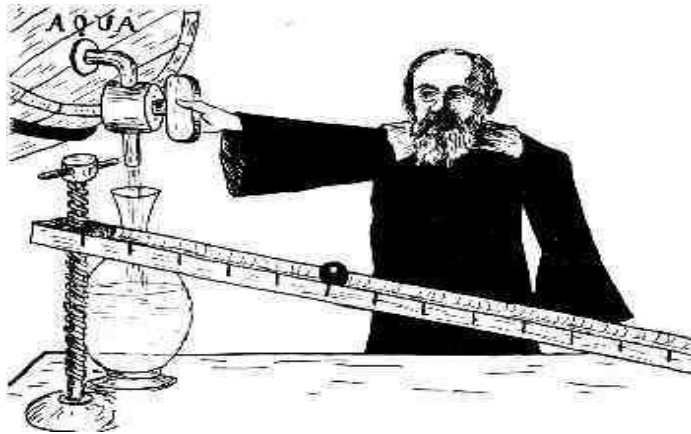
Em suas investigações, Galileu buscava a confirmação ou não das hipóteses teóricas através da realização de experimentos controlados e cálculos pois acreditava que a “linguagem do



Galileu Galilei, por Justus Sustermans  
1636.(<https://pt.wikipedia.org/>)

mundo natural estava escrita em caracteres matemáticos”. A esta maneira de proceder adotada por Galileu deu-se o nome de **método científico**.

Galileu se valeu de sua engenhosidade e habilidade para escolher os experimentos adequados vencendo as barreiras que, a pouca ou nenhuma, tecnologia da época lhe infringia. No estudo da queda dos corpos Galileu se utilizou de planos inclinados (estudar a queda livre de um corpo, mesmo nos



Um desenho de George Gamow (1902-1968) que representa Galileu experimentando sobre o plano inclinado. (<http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/>)

planos (pequena inclinação) a análise das posições ocupadas pelas esferas era facilitada bem como a medição do tempo, vencidas estas barreiras a análise matemática levou a conclusão de que corpos com massas diferentes (ao desprezarmos a resistência do ar) caem com a mesma aceleração (derrubando a conclusão de Aristóteles).

A luneta também foi outra grande inovação de Galileu, não por tê-la inventado (na verdade, não inventou), mas por usá-la para olhar o céu. Ao fazê-lo pôde ver as crateras da Lua, as fases de

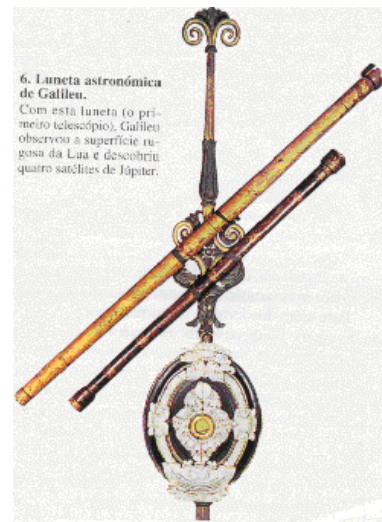
Vênus, os anéis de Saturno, as manchas solares e quatro das luas de Júpiter (fato que mostrou que outro astro tinha luas, não só a Terra), informações que contribuíram para o fortalecimento do heliocentrismo (Sol como centro do sistema solar), mais uma vez derrubando conclusões aristotélicas.

Um fato interessante é que o mais famoso de seus experimentos, no qual Galileu teria abandonado uma esfera de chumbo e outra de madeira do alto da torre de Pisa para provar que chegariam juntas ao chão (a mais pesada junto com a mais leve), nunca aconteceu. Esquecendo o folclore, o fato é, que com seu **método científico**, Galileu refutou as ideias aristotélicas da queda dos corpos e também o modelo geocêntrico.

## V. RESUMO

- Com as evidências de que a superfície da Terra era curva, os gregos consideraram a Terra esférica - a forma geométrica mais perfeita.
- O sábio grego Eratóstenes (276 a.C.-194 a.C.) encontrou com incrível precisão o valor de 6 548 km para o raio da Terra. O valor hoje aceito é de 6 378 km.

dias de hoje, não é tão simples pois soltando um corpo de certa altura este rapidamente chegará ao chão tornando a análise de seu movimento extremamente complicada e, no fim do séc. XVI, impossível). Com a escolha da inclinação dos



6. Luneta astronômica de Galileu. Com esta luneta (o primeiro telescópio), Galileu observou a superfície rugosa da Lua e descobriu quatro satélites de Júpiter.

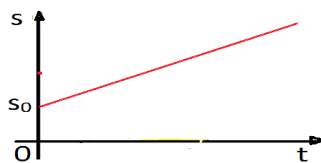
(<http://www.museutec.org.br/>)



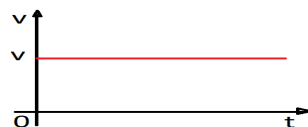
- O modelo de Eudóxo de Cnido (408 a.C.-355 a.C.) representava o Universo geocêntrico (Terra no centro do Universo) através de esferas concêntricas, porém seu modelo não explicava tudo que se observava.
- O modelo de Aristarco de Samos (310 a.C.-230 a.C.) propunha que o Sol ocupava o centro do Universo e que a Terra tinha movimento de rotação, ideias que não foram bem aceitas.
- Foi com Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.) que o geocentrismo se estabeleceu.
- Aristóteles aperfeiçoou o modelo de Eudoxo e, ainda, apresentou explicações para o funcionamento do cosmos – as leis da natureza para a Terra não eram as mesmas obedecidas pelos outros astros.
- Foi Cláudio Ptolomeu (90-168), em sua obra *Almagesto*, quem apresentou o modelo geocêntrico em maior acordo com os dados observacionais.
- O modelo de ptolomaico foi referência para astrônomos por vários séculos (até o início do séc. XVII). Além de sua aplicabilidade, também contribuiu para sua longa vigência a aceitação da igreja.
- Nicolau Copérnico (1473-1543), em seu tratado *Sobre as Revoluções das Esferas Celestes*, propôs que o sistema que melhor explica as observações é aquele em que o Sol está fixo – sistema heliocêntrico - com os outros astros, inclusive a Terra descrevendo círculos em torno do Sol ou de um ponto muito próximo do Sol.
- Tycho Brahe (1546-1601), não aceitou o modelo copernicano e criou um modelo onde todos os planetas giravam em torno de Sol que, por sua vez e junto com a Lua, girava em torno da Terra.
- Com Johannes Kepler (1571-1630) a verdade foi revelada:
  - 1ª Lei de Kepler (Lei das Órbitas): Os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, localizado em um dos focos da elipse.
  - 2ª Lei de Kepler (Lei das Áreas): A linha que vai do planeta ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.
  - 3ª Lei de Kepler (Lei dos Períodos): A razão entre o quadrado dos períodos e o cubo da distância média dos planetas ao Sol é constante.

$$\frac{T^2}{D^3} = k$$

- Movimento Uniforme (MU) é aquele movimento em que o módulo velocidade é constante e diferente de zero.
- A função horária da posição para o movimento uniforme (MU) é dada pela expressão:  
 $x = x_0 + vt$
- Para um móvel em MU, cuja função horária da posição é do primeiro grau em t, a representação gráfica é um segmento de reta inclinado em relação aos eixos das posições e dos tempos.

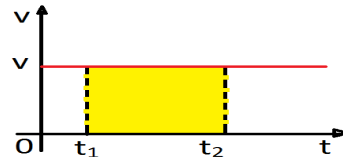


- No MU, o gráfico da velocidade instantânea em função do tempo é uma reta paralela ao eixo dos tempos.



- A “área” entre o gráfico e o eixo dos tempos, entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ , no gráfico da velocidade,  $v$ , contra o tempo,  $t$ , fornece a variação da posição (deslocamento) entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

$$A = \Delta x$$



- Graficamente, a representação da aceleração,  $a$ , em função do tempo,  $t$ , para o MU fica:



- O período,  $T$ , em um movimento circular uniforme é o intervalo de tempo,  $\Delta t$ , necessário para o móvel completar uma volta.

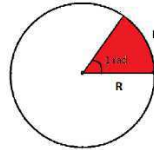
unid SI ( $T$ ) = s

- A frequência,  $f$ , em um movimento circular uniforme é o número de voltas que o móvel completa por unidade de tempo.

unid SI ( $f$ ) = rps = Hz =  $s^{-1}$

- Espaço angular ou fase,  $\theta$ , de um ponto material é o ângulo medido entre o raio que passa pela origem das posições,  $O$ , marcada sobre a circunferência e o raio que passa pela partícula.

- Um radiano (rad) corresponde a medida do ângulo central cujo arco correspondente ( $x$ ) tem o mesmo comprimento do raio ( $R$ ) da circunferência.



- Um ângulo central será dado em radianos ao dividirmos o comprimento do arco correspondente ( $x$ ) pelo raio ( $R$ ) da circunferência:

$$\theta = \frac{x}{R}$$

- O deslocamento angular,  $\Delta\theta$ , correspondente ao deslocamento linear,  $\Delta x$ , é dado por:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

- A velocidade média angular,  $\omega_m$ , é o quociente entre a variação da posição angular ( $\Delta\theta$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) transcorrido durante essa variação de posição angular:

$$\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

- A unidade SI para a velocidade angular é o radiano (rad) por segundo (s):

$$\text{unid SI } (\omega) = \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \text{s}^{-1}$$

- A velocidade média angular,  $\omega_m$ , é igual à velocidade média linear,  $v_m$ , dividida pelo raio,  $R$ , da circunferência:

$$\omega_m = \frac{v_m}{R}$$

- A velocidade angular instantânea,  $\omega$ , num dado instante,  $t$ , é expressa matematicamente por:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

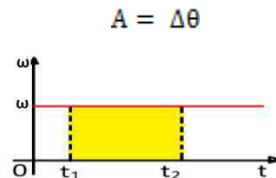
- A velocidade instantânea angular,  $\omega$ , é igual à velocidade instantânea linear,  $v$ , dividida pelo raio,  $R$ , da circunferência:

$$\omega = \frac{v}{R}$$

- No movimento circular uniforme (MCU), o móvel descreve uma trajetória circular percorrendo arcos iguais em tempos iguais, ou seja, sua velocidade angular é constante.
- A função horária da posição angular para o movimento circular uniforme (MCU) é dada pela expressão:

$$\theta = \theta_0 + \omega t$$

- A “área” destacada entre o gráfico e o eixo dos tempos, entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ , no gráfico da velocidade angular,  $\omega$ , contra o tempo,  $t$ , fornece a variação da posição angular entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .



- No MCU, temos:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{e} \quad \omega = 2\pi f$$

## I. EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

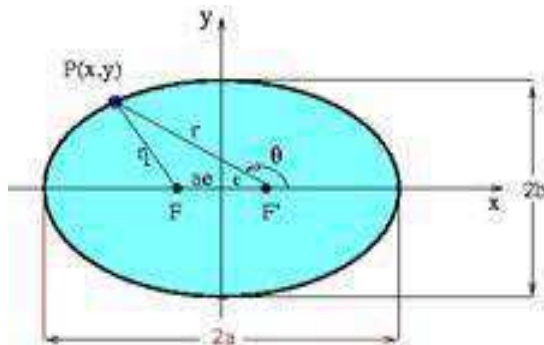
### GEOCENTRISMO x HELIOCENTRISMO

**EP1. (ENEM)** Na linha de uma tradição antiga, o astrônomo grego Ptolomeu (100-170 d.C.) afirmou a tese do geocentrismo, segundo a qual a Terra seria o centro do universo, sendo que o Sol, a Lua e os planetas girariam em seu redor em órbitas circulares. A teoria de Ptolomeu resolvia de modo razoável os problemas astronômicos da sua época. Vários séculos mais tarde, o clérigo e astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), ao encontrar inexactidões na teoria de Ptolomeu, formulou a teoria do heliocentrismo, segundo a qual o Sol deveria ser considerado o centro do universo, com a Terra, a Lua e os planetas girando circularmente em torno dele. Por fim, o astrônomo e matemático alemão Johannes Kepler (1571-1630), depois de estudar o planeta Marte por cerca de trinta anos,

verificou que a sua órbita é elíptica. Esse resultado generalizou-se para os demais planetas. A respeito dos estudiosos citados no texto, é correto afirmar que

- Ptolomeu apresentou as ideias mais valiosas, por serem mais antigas e tradicionais.
- Copérnico desenvolveu a teoria do heliocentrismo inspirado no contexto político do Rei Sol.
- Copérnico viveu em uma época em que a pesquisa científica era livre e amplamente incentivada pelas autoridades.
- Kepler estudou o planeta Marte para atender às necessidades de expansão econômica e científica da Alemanha.
- Kepler apresentou uma teoria científica que, graças aos métodos aplicados, pôde ser testada e generalizada.

**EP2. (MACKENZIE-SP)** De acordo com uma das leis de Kepler, cada planeta completa (varre) áreas iguais em tempos iguais em torno do Sol.



Como as órbitas são elípticas e o Sol ocupa um dos focos, conclui-se que:

I) Quando o planeta está mais próximo do Sol, sua velocidade aumenta

II- Quando o planeta está mais distante do Sol, sua velocidade aumenta

III-A velocidade do planeta em sua órbita elíptica independe de sua posição relativa ao Sol.

Responda de acordo com o código a seguir:

- a) somente I é correta
- b) somente II é correta
- c) somente II e III são corretas
- d) todas são corretas
- e) nenhuma é correta

**EP3. (UFSC)** Sobre as leis de Kepler, assinale as proposições verdadeiras para o sistema solar.

01- O valor da velocidade de revolução da Terra, em torno do Sol, quando sua trajetória está mais próxima do Sol, é maior do que quando está mais afastado do mesmo

02- Os planetas mais afastados do Sol tem um período de revolução, em torno do mesmo, maior que os mais próximos

04- Os planetas de maior massa levam mais tempo para dar uma volta em torno do Sol, devido à sua inércia.

08- O Sol está situado num dos focos da órbita elíptica de um dado planeta

16- Quanto maior for o período de rotação de um dado planeta, maior

será seu período de revolução em torno do Sol

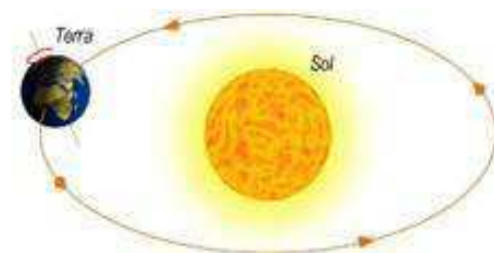
32- No caso especial da Terra, a órbita é exatamente uma circunferência

Dê como resposta a soma dos números que precedem as proposições corretas.

**EP4. (ENEM)** As leis de Kepler definem o movimento da Terra em torno do Sol. Qual é, aproximadamente, o tempo gasto, em meses, pela Terra para percorrer uma área igual a um quarto da área total da elipse?

- a) 9
- b) 6
- c) 4
- d) 3
- e) 1

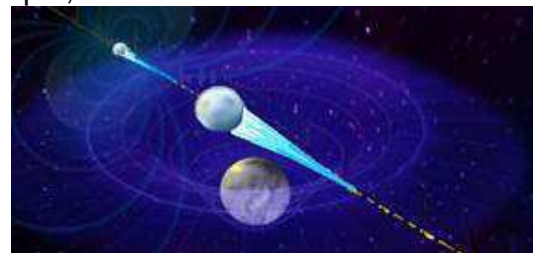
**EP5. (UNESP-SP)** A Terra descreve uma elipse em torno do Sol cuja área é  $A=6,98.10^{22} \text{ m}^2$ .



a) Qual é a área varrida pelo raio que liga a Terra ao Sol desde zero hora do dia 1o de Abril até as 24 horas do dia 30 de Maio do mesmo ano?

b) Qual foi o princípio ou lei que você usou para efetuar o cálculo acima?

**EP6. (ITA-SP)** Na ficção científica A Estrela, de H.G. Wells, um grande asteróide passa próximo a Terra que, em



consequência, fica com sua nova órbita mais próxima do Sol e tem

seu ciclo lunar alterado para 80 dias.

Pode-se concluir que, após o fenômeno, o ano terrestre e a distância Terra-Lua vão tornar-se, respectivamente,

a) mais curto – aproximadamente a metade do que era antes.

b) mais curto – aproximadamente duas vezes o que era antes.

c) mais curto – aproximadamente quatro vezes o que era antes.

d) mais longo – aproximadamente a metade do que era antes.

e) mais longo – aproximadamente um quarto do que era antes.

**EP7. (UFSC-SC)** “Eu medi os céus, agora estou medindo as sombras. A mente rumo ao céu, o corpo descansa na terra.”



Com esta inscrição, Johannes Kepler encerra sua passagem pela vida, escrevendo seu próprio epitáfio. Kepler, juntamente com outros grandes nomes, foi responsável por grandes avanços no que se refere à mecânica celeste.

No que se refere à história e à ciência por trás da mecânica celeste, assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S).

01. O astrônomo Cláudio Ptolomeu defendia o sistema geocêntrico, com a Terra no centro do sistema planetário. Já Nicolau Copérnico defendia o sistema heliocêntrico, com o Sol no centro do sistema planetário. Tycho Brahe elaborou um sistema no qual os planetas

giravam em torno do Sol e o Sol girava em torno da Terra.

02. Galileu Galilei foi acusado de herege, processado pela Igreja Católica e julgado em um tribunal por afirmar e defender que a Terra era fixa e centralizada no sistema planetário.

04. Kepler resolveu o problema das órbitas dos planetas quando percebeu que elas eram elípticas, e isso só foi possível quando ele parou de confiar nas observações feitas por Tycho Brahe.

08. O movimento de translação de um planeta não é uniforme; ele é acelerado entre o periélio e o afélio, e retardado do afélio para o periélio.

16. A teoria da gravitação universal, de Newton, é válida para situações nas quais as velocidades envolvidas sejam muito grandes (próximas à velocidade da luz) e o movimento não ocorra em campos gravitacionais muito intensos.

32. A teoria da relatividade geral de Einstein propõe que a presença de uma massa deforma o espaço e o tempo nas suas proximidades, sendo que, quanto maior a massa e menor a distância, mais intensos são seus efeitos. Por isso a órbita de Mercúrio não pode ser explicada pela gravitação de Newton.

**EP8. (UEPG-PR)**

Aproximadamente, durante um período de quase dois mil anos, a humanidade aceitou a teoria geocêntrica, isto é, a Terra como centro do Universo. Graças ao trabalho de grandes cientistas, entre eles Johannes Kepler, estabeleceu-se a verdade em relação ao Sistema Solar, a teoria heliocêntrica tendo o Sol como o centro do Sistema Solar e os planetas girando ao seu redor. Com relação às leis enunciadas por Kepler, assinale a alternativa correta.

a) Um planeta em órbita em torno do Sol não se move com velocidade constante, mas de tal maneira que uma linha traçada do planeta ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

b) Todos os planetas do Sistema Solar, incluindo a Terra, giram em torno do Sol em órbitas circulares, tendo o Sol como centro.

c) Periélio é a aproximação entre os planetas e o Sol, enquanto que afélio é o afastamento entre os planetas e o Sol. No inverno ocorre o periélio.

d) A segunda lei de Kepler prova que a maior velocidade de translação dos planetas, no periélio, é menor que nos pontos mais afastados, no afélio.

e) As leis enunciadas por Kepler são válidas apenas para o Sistema Solar.

## MOVIMENTO UNIFORME

**EP9.** Dada a função horária  $x = 25 + 2t$ , em unidades do Sistema Internacional, determine:

a) se o movimento é uniforme ou variado;

b) a posição inicial e a velocidade do móvel;

c) se o movimento é progressivo ou retrógrado;

d) a posição em  $t = 10$  s;

e) o instante em que  $x = 55$  m.

**EP10.** A função horária para um móvel em movimento uniforme é  $x = 30 - 4t$  (S.I.). Determine:

a) a posição inicial e a velocidade do móvel;

b) o instante em que o móvel passa pela origem das posições.

**EP11.** Um automóvel encontra-se no quilômetro 120 de uma rodovia, em movimento retrógrado, com uma rapidez de 60 km/h. A partir desse instante, determine:

a) a função horária da posição para esse carro;

b) se a posição está aumentando ou diminuindo com o tempo;

c) após quanto tempo ele atingirá o marco zero da rodovia.

**EP12.** Nas seguintes funções horárias da posição, identifique a posição inicial e a velocidade:

a)  $x = 12 + 3t$  (SI);

b)  $x = -20 + 8t$  (SI);

c)  $x = 50 - 10t$  (cm; s);

d)  $x = 5t$  (km; h).

**EP13.** Na tabela temos a posição em função do tempo para um carro, em movimento uniforme, que se movimenta em uma rodovia.

t (h)	0	0,5	1,5	2,0	3,0
x (km)	10	50	130	170	250

a) Classifique o movimento em retrógrado ou progressivo.

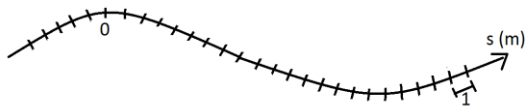
b) Determine a função horária da posição.

**EP14.** Num barco com sonar, sinais de ultra-som são emitidos e, ao encontrarem algum obstáculo (um cardume, o fundo do mar ou um submarino), são refletidos de volta ao barco. Entre a emissão e o recebimento de um sinal, passaram-se 0,5 s. A que profundidade estava o obstáculo considerando que a velocidade do ultra-som na água é igual a 1 500 m/s?

**EP15.** A distância média entre a Terra e o Sol é cerca de 150 milhões de quilômetros.

Sabendo que a velocidade da luz, no vácuo, vale aproximadamente 300 000 km/s, quanto tempo é necessário para que a luz do Sol chegue à Terra (escolha a unidade mais adequada para sua resposta)?

**EP16.** Marque, na trajetória abaixo, as posições de um móvel, cuja função horária das posições é  $x = 20 - 6t$ , (SI), nos instantes 0, 1 s, 2 s, 3 s e 4 s.



**EP17.** Dois automóveis percorrendo a mesma trajetória, simultaneamente, têm as seguintes funções horárias do espaço:

$$x_1 = -20 + 15t \text{ e } x_2 = 30 + 5t \text{ (SI)}$$

Determine:

- o instante em que os móveis se encontram;
- a posição de encontro.
- a distância entre as partículas no instante  $t = 10$  s.

**EP18.** Dois carros percorrem uma mesma rodovia, no mesmo sentido, com velocidades de 30 m/s e 20 m/s, respectivamente. Em determinado instante, os carros estão separados por uma distância de 600 m. A partir desse instante, em quanto tempo os carros estarão emparelhados?

**EP19.** Num dado momento ( $t_0 = 0$ ) dois automóveis, A e B, ocupam as posições  $x_A = 50$  km e  $x_B = 200$  km, movendo-se um em direção ao outro. Sabendo que suas velocidades são constantes e têm de módulos respectivamente iguais a 90 km/h e 60 km/h, determine:

- o instante em que se cruzarão;
- a posição em que ocorrerá o cruzamento.

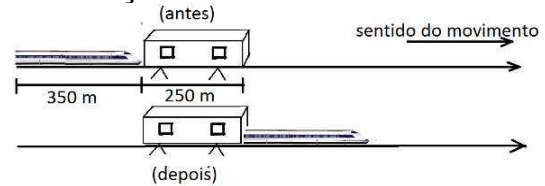
**EP20.** Uma sonda retorna de Júpiter em direção à Terra, a uma velocidade constante de 14 km/s. Simultaneamente, parte da Terra uma nave, com velocidade constante de 10 km/s, com a missão de interceptá-la. Considerando que a trajetória seguida pelos móveis é a trajetória a seguir, determine:



- o tempo transcorrido até a interceptação (use a unidade mais conveniente);
- a posição, em UA, onde ocorre a interceptação.

**ER1.** Calcule o tempo necessário para que um trem de 350 m de comprimento, viajando a 108 km/h, passe completamente um túnel de 250 m de comprimento.

**Resolução:**



Na figura acima temos o trem imediatamente antes de entrar no túnel e, imediatamente depois de sair.

Note que para o trem ultrapassar completamente o túnel ele percorre uma distância de 600 m (comprimento do trem + comprimento do túnel) com uma velocidade constante de 108 km/h (30 m/s).

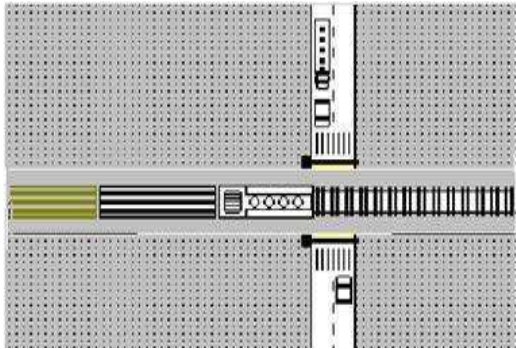
Como:  $\Delta s = vt$

$$\therefore 600 = 30t$$

$$\therefore t = 20 \text{ s}$$

**EP21.** Um trem de 300 m de comprimento levou 40 s para atravessar completamente um túnel. Sabendo que a velocidade do trem durante a travessia foi 15 m/s e constante, qual o comprimento do túnel?

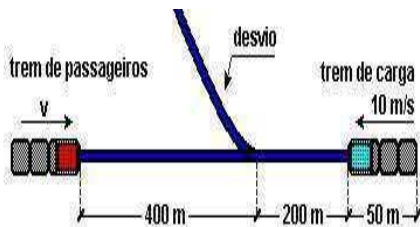
**EP22. (FGV-RJ)** Em uma passagem de nível, a cancela é fechada automaticamente quando o trem está a 100 m do início do cruzamento. O trem, de comprimento 200 m, move-se com velocidade constante de 36 km/h. Assim que o último vagão passa pelo final do cruzamento, a cancela se abre liberando o tráfego de veículos.



Considerando que a rua tem largura de 20 m, o tempo que o trânsito fica contido desde o início do fechamento da cancela até o início de sua abertura, é, em s,  
 a) 32    b) 36    c) 44    d) 54  
 e) 60

**EP23-(UFRJ-RJ)** Dois trens, um de carga e outro de passageiros, movem-se nos mesmos trilhos retilíneos, em sentidos opostos, um aproximando-se do outro, ambos com movimentos uniformes. O trem de carga, de 50 m de comprimento, tem uma velocidade de módulo igual a 10 m/s e o de passageiros, uma velocidade de módulo igual a  $v$ . O trem de carga deve entrar num desvio para que o de passageiros possa prosseguir viagem nos mesmos trilhos, como ilustra a figura.

No instante focalizado, as distâncias das dianteiras dos trens ao desvio valem 200 m e 400 m, respectivamente.



Calcule o valor máximo de  $v$  para que não haja colisão.

**EP24.(Uespi)** Um passageiro perdeu um ônibus que saiu da rodoviária há 5,0 min e pegou um táxi para alcança-lo.

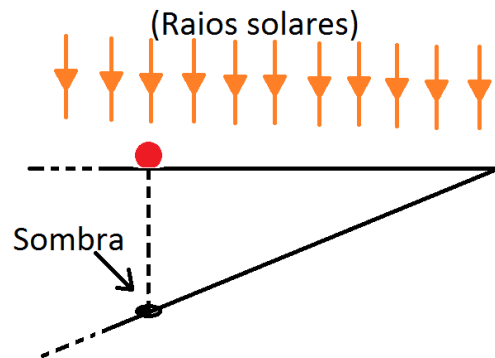
O ônibus e o táxi descrevem a mesma trajetória e seus movimentos são uniformes.

A velocidade escalar do ônibus é de 60 km/h e a do táxi é de 90 km/h.

O intervalo de tempo necessário ao táxi para alcançar o ônibus é de:

- a) 5,0 min    b) 10 min    c) 15 min    d) 20 min    e) 25 min

**EP25. (Vunesp-SP)** Uma bola desloca-se em trajetória retilínea, com velocidade constante, sobre um plano horizontal transparente. Com o Sol a pino, a sombra da bola é projetada verticalmente sobre um plano inclinado, como mostra a figura.



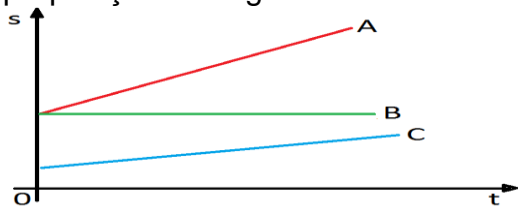
Nessas condições, a sombra desloca-se sobre o plano inclinado em:

- a) movimento retilíneo uniforme, com velocidade de módulo igual ao da velocidade da bola.  
 b) movimento retilíneo uniforme, com velocidade de módulo menor que o da velocidade da bola.  
 c) movimento retilíneo uniforme, com velocidade de módulo maior que o da velocidade da bola.  
 d) movimento retilíneo uniformemente variado, com velocidade de módulo crescente.  
 e) movimento retilíneo uniformemente variado, com velocidade de decrescente.

**EP26.** Três partículas, A, B e C, movem-se numa mesma trajetória. Sabendo que na figura abaixo, estão representados os gráficos da posição ( $x$ ) em função do tempo ( $t$ )

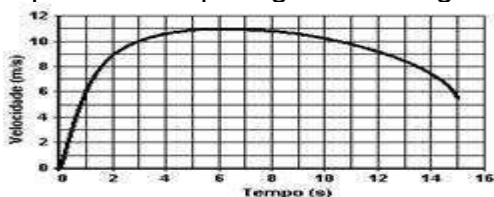


de seus movimentos, marque V para verdadeiro e F para falso nas proposições a seguir:



- A posição inicial de **A** é maior que a posição inicial de **C**, ou seja, **A** está mais afastado da origem no sentido das posições crescentes.
- A posição inicial de **A** é maior que a posição inicial de **C**, ou seja, **A** está mais próximo da origem no sentido das posições crescentes
- A** e **B** têm a mesma posição inicial.
- A** tem velocidade de módulo menor que o módulo da velocidade de **B**.
- A** tem velocidade de módulo maior que o módulo da velocidade de **B**.
- B** está em repouso.
- A** e **B** movem-se em direção à origem das posições.

**EP27. (ENEM)** Em uma prova de 100m rasos, o desempenho típico de um corredor padrão é representado pelo gráfico a seguir:

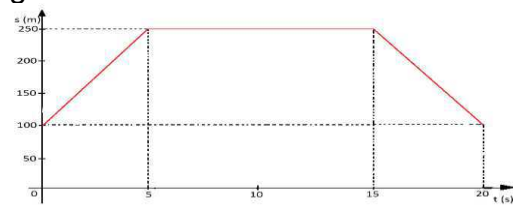


Baseado no gráfico, em que intervalo de tempo a VELOCIDADE do corredor é aproximadamente constante?

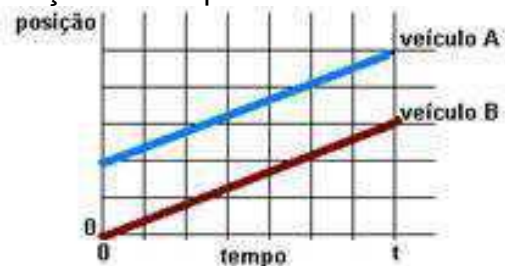
- a) Entre 0 e 1 segundo.
- b) Entre 1 e 5 segundos.
- c) Entre 5 e 8 segundos.
- d) Entre 8 e 11 segundos.
- e) Entre 12 e 15 segundos.

**EP28.** Represente graficamente, no intervalo de 0 a 20 s, a velocidade de uma partícula cuja posição varia

com o tempo de acordo com o gráfico abaixo:



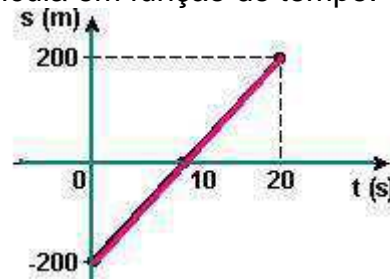
**EP29. (UNESP-SP)** Os gráficos na figura representam as posições de dois veículos, A e B, deslocando-se sobre uma estrada retilínea, em função do tempo.



A partir desses gráficos, é possível concluir que, no intervalo de 0 a t,

- a) a velocidade do veículo A é maior que a do B.
- b) a aceleração do veículo A é maior que a do veículo B.
- c) o veículo A está se deslocando à frente do B.
- d) os veículos A e B estão se deslocando um ao lado do outro.
- e) a distância percorrida pelo veículo A é maior que a percorrida pelo veículo B.

**EP30. (PUC-PR)** O gráfico mostra a variação da posição de uma partícula em função do tempo.

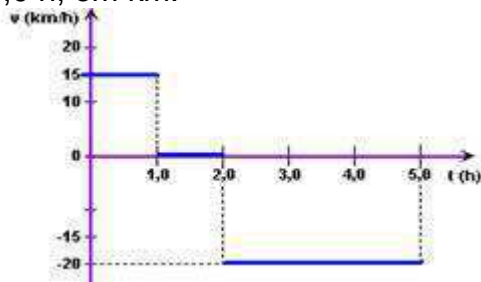


Analisando o gráfico, é correto afirmar:

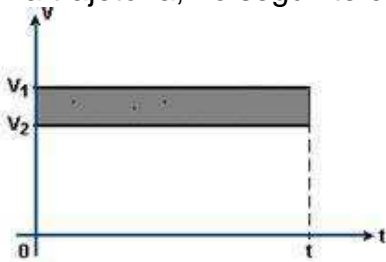
- a) É nulo o deslocamento da partícula de 0 a 15s.
- b) A velocidade da partícula é negativa entre 0 e 10 segundos.

- c) A aceleração da partícula vale  $20\text{m/s}^2$ .
- d) A velocidade da partícula é nula no instante 10 s.
- e) A velocidade da partícula é constante e vale 20 m/s.

**EP31. (Ufpe)** A figura mostra um gráfico da velocidade em função do tempo para um veículo que realiza um movimento composto de movimentos retilíneos uniformes. Sabendo-se que em  $t = 0$  a posição do veículo é  $x_0 = + 50$  km, calcule a posição do veículo no instante  $t = 4,0$  h, em km.



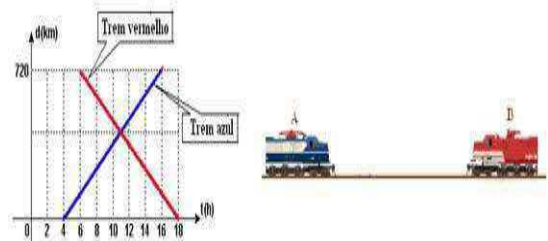
**EP32. (FGV)** O gráfico  $v \times t$  representa os movimentos de dois automóveis, com velocidades  $v_1$  e  $v_2$ . A área hachurada representa a distância entre os automóveis no instante  $t$ , medida ao longo da mesma trajetória, no seguinte caso:



- a) partiram da mesma posição e em instantes diferentes
- b) partiram do mesmo instante e de posições diferentes
- c) partiram em instantes diferentes e de posições diferentes
- d) partiram da mesma posição e no mesmo instante
- e) em qualquer dos casos acima

**EP33. (Ufsc)** Dois trens partem, em horários diferentes, de duas cidades situadas nas extremidades de uma ferrovia, deslocando-se em sentidos contrários. O trem Azul parte da

cidade A com destino à cidade B, e o trem vermelho da cidade B com destino à cidade A. O gráfico representa as posições dos dois trens em função do horário, tendo como origem a cidade A ( $d = 0$ ).

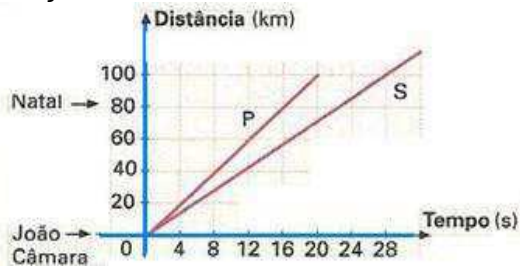


Considerando a situação descrita e as informações do gráfico, assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S) e sua soma:

- (01) O tempo de percurso do trem vermelho é de 18 horas.
- (02) Os dois trens gastam o mesmo tempo no percurso: 12 horas.
- (04) A velocidade média dos trens é 60 km/h.
- (08) O trem Azul partiu às 4 horas da cidade A.
- (16) A distância entre as duas cidades é 720 km.
- (32) Os dois trens se encontram às 11 horas.

**EP34. (UFRN)** A cidade de João Câmara, a 80 km de Natal, no Rio Grande do Norte (RN), tem sido o epicentro (ponto da superfície terrestre atingido em primeiro lugar e com mais intensidade pelas ondas sísmicas) de alguns terremotos ocorridos nesse estado. O Departamento de Física da UFRN tem um grupo de pesquisadores que trabalham na área de sismologia utilizando um sismógrafo instalado nas suas dependências, para detecção de terremotos. Num terremoto, em geral, duas ondas, denominadas de primária (P) e secundária (S), percorrem o interior da Terra com velocidades diferentes. Admita que as informações contidas no gráfico

abaixo são referentes a um dos terremotos ocorridos no RN. Considere ainda que a origem dos eixos da figura é coincidente com a posição da cidade de João Câmara.

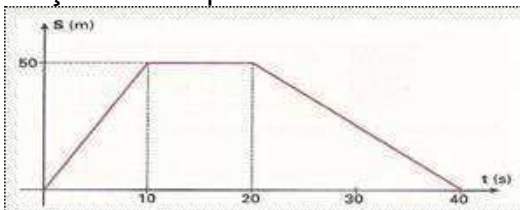


Dados referentes às ondas P e S, associados a um terremoto ocorrido no Rio Grande do Norte.

Diante das informações contidas no gráfico, é correto afirmar que a onda mais rápida e a diferença de tempo de chegada das ondas P e S no sismógrafo da UFRN, em Natal, correspondem, respectivamente:

- a) à onda S e 4 segundos.
- b) à onda P e 8 segundos.
- c) à onda P e 16 segundos
- d) à onda S e 24 segundos.

**EP35. (UFSM-RS)** No gráfico, representam-se as posições ocupadas por um corpo que se desloca numa trajetória retilínea em função do tempo.

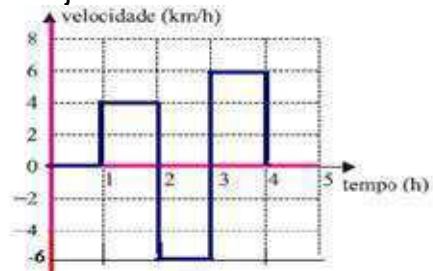


Pode-se, então, afirmar que o módulo da velocidade do corpo:

- a) aumenta no intervalo de 0 s a 10 s.
- b) diminui no intervalo de 20 s a 40 s.
- c) tem o mesmo valor em todos os diferentes intervalos de tempo.
- d) é constante e diferente de zero no intervalo de 10 s a 20 s.
- e) é maior no intervalo de 0 a 10s

**EP36.(UNESP-SP)** Considere o gráfico de velocidade em função do

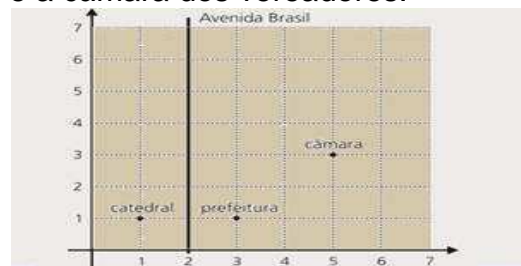
tempo de um objeto que se move em trajetória retilínea.



No intervalo entre 0 a 4 h, o objeto se desloca, em relação ao ponto inicial, de:

- a) 0 km. b) 1 km c) 2 km d) 4 km e) 8 km

**EP37.(UNICAMP-SP)** A figura abaixo representa parte do mapa de uma cidade, no qual estão identificadas a catedral, a prefeitura e a câmara dos vereadores.



Observe que o quadriculado não representa os quarteirões da cidade, servindo apenas para a localização dos pontos e retas no plano cartesiano. Nessa cidade, a Avenida Brasil é formada pelos pontos equidistantes da catedral e da prefeitura, enquanto a Avenida Juscelino Kubitschek (não mostrada no mapa) é formada pelos pontos equidistantes da prefeitura e da câmara de vereadores.

Sabendo que a distância real entre a catedral e a prefeitura é de 500 m, podemos concluir que a distância real, em linha reta, entre a catedral e a câmara de vereadores é de

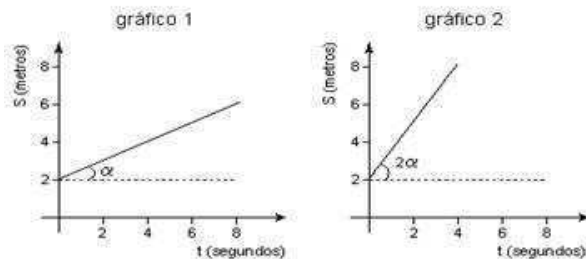
- a)  $500\sqrt{5}$  m. b) 1500 m. c)  $1000\sqrt{2}$  m
- d)  $500 + 500\sqrt{2}$  m.

**EP38. (FEPECS-DF)** Uma abelha comum voa a uma velocidade de aproximadamente  $v_1 = 25,0$  Km/h quando parte para coletar néctar, e  $v_2 = 15,0$  km/h quando volta para

a colmeia, carregada de néctar. Suponha que uma abelha nessas condições parte da colmeia voando em linha reta até uma flor, que se encontra a uma distância  $D$ , gasta 2 minutos na flor, e volta para a colmeia, também em linha reta. Sabendo-se que o tempo total que a abelha gastou indo até a flor, coletando néctar e voltando para a colmeia, foi de 34 minutos, então a distância  $D$  é, em Km, igual a:

- a) 1      b) 2      c) 3      d) 4  
e) 5

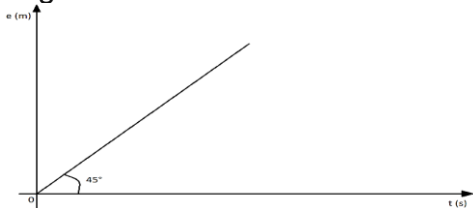
**EP39.(UERJ-RJ)** Os gráficos 1 e 2 representam a posição  $S$  de dois corpos em função do tempo  $t$ .



No gráfico 1, a função horária é definida pela equação  $S = 2 + (1/2)t$ . Assim, a equação que define o movimento representado pelo gráfico 2 corresponde a:

- a)  $S = 2 + t$       b)  $S = 2 + 2t$   
c)  $S = 2 + (4/3)t$       d)  $S = 2 + (6/5)t$

**EP40.(ITA)** Um estudante observou o movimento de um móvel durante certo tempo. Verificou que o móvel descrevia um movimento retilíneo e anotou os valores de espaço ( $e$ ) e de tempo ( $t$ ) correspondentes, construindo o gráfico da figura a seguir.



Pode-se afirmar que:

- a) a velocidade do móvel é constante e vale  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ , tendo em vista que o ângulo que a reta faz com o eixo dos tempos é de  $45^\circ$ .  
b) a velocidade do móvel é constante e vale  $\frac{1}{\sqrt{2}} \text{ m.s}^{-1}$ .  
c) a velocidade do móvel é constante e vale aproximadamente  $1,4 \text{ m.s}^{-1}$ .  
d) faltam dados para calcular a velocidade do móvel.  
e) a aceleração e a velocidade estão indeterminados.

## MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

**EP41.(UFB)** Um menino passeia em um carrossel. Sua mãe, do lado de fora do carrossel, observa o garoto passar por ela a cada 30 s.



Determine a frequência do carrossel em Hz e rpm.

**EP42. (PUC-RS)** A frequência e o período dos minutos de um relógio são, respectivamente:



- a)  $(1/3.600) \text{ Hz}$  e  $3.600 \text{ s}$   
b)  $(1/60) \text{ Hz}$  e  $3.600 \text{ s}$   
c)  $(1/60) \text{ Hz}$  e  $60 \text{ min}$   
d)  $60 \text{ Hz}$  e  $60 \text{ s}$   
e)  $60 \text{ Hz}$  e  $(1/60) \text{ min}$



**EP43. (UFRJ-RJ)** Em um relógio convencional, como o mostrado na figura, o ponteiro das horas gira com

movimento uniforme de frequência  $f$ . A Terra, também gira, em torno de seu eixo, com movimento uniforme de frequência  $f'$ . Calcule a razão  $f/f'$ .

**EP44.(UNESP-SP)** Quem está na Terra vê sempre a mesma face da lua. Isto ocorre porque:



- a) a Lua não efetua rotação e nem translação.
- b) a Lua não efetua rotação, apenas translação.
- c) os períodos de rotação e translação da Lua são iguais.
- d) as oportunidades para se observar a face oculta coincidem com o período diurno da Terra.
- e) enquanto a Lua dá uma volta em torno da Terra, esta dá uma volta em torno do seu eixo.

**EP45.(UFRS)** Um corpo em movimento circular uniforme completa 20 voltas em 10 segundos. O período (em s) e a frequência (em  $s^{-1}$ ) do movimento são, respectivamente:

- a) 0,50 e 2,0      b) 2,0 e 0,50      c) 0,50 e 5,0
- d) 10 e 20      e) 20 e 2,0

**EP46.** Converta para radianos os seguintes ângulos:

- a)  $360^\circ$       b)  $270^\circ$       c)  $180^\circ$
- d)  $120^\circ$
- e)  $90^\circ$       f)  $60^\circ$       g)  $45^\circ$
- h)  $30^\circ$

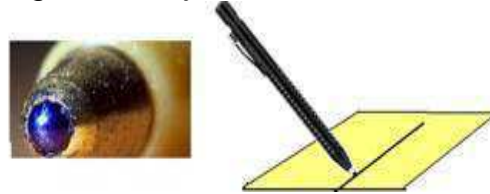
**EP47.** Um ciclista percorre uma pista circular de raio 100 m. Qual será sua velocidade linear quando sua velocidade angular for igual a  $0,2 \text{ rad/s}$ ?

**EP48.** Para uma partícula, movendo-se numa circunferência de raio 30cm, que percorre um arco de

90 cm de comprimento em 10 s determine:

- a) sua velocidade média;
- b) sua velocidade média angular.

**EP49.(FGV-SP)** Toda caneta esferográfica possui em sua ponta uma pequena esfera feita de liga de tungstênio, cuja



finalidade é transferir a tinta do reservatório para o papel. Quando um desenhista traça uma linha reta, transladando sua caneta com velocidade constante  $v = 0,2 \text{ m/s}$ , a pequena esfera de 0,8 mm de diâmetro gira sobre seu centro com velocidade angular  $\omega$ , em  $\text{rad/s}$ , de valor:

- a) 160      b) 200      c) 250      d) 400
- e) 500

**EP50. (Uerj)** A distância média entre o Sol e a Terra é de cerca de 150 milhões de quilômetros.

Assim, a velocidade média de translação da Terra em relação ao Sol é, aproximadamente, de:

- a) 3 km/s      b) 30 km/s      c) 300 km/s      d) 3 000 km/s

**EP51.(UFU-MG)** Um relógio com mecanismo defeituoso atrasa 10 minutos a cada hora. A velocidade angular média do ponteiro maior desse relógio, quando calculada com o uso de um relógio sem defeitos, vale, em  $\text{rad/s}$ ,

- a)  $\pi/2160$       b)  $\pi/2100$       c)  $\pi/3600$       d)  $\pi/1500$

**EP52. (FATEC-SP)** Em um estádio esportivo, uma pista circular tem raio igual a 12,0 m. Dois atletas A e B percorrem a pista no mesmo sentido com velocidades constantes  $V_A = 8 \text{ m/s}$  e  $V_B = 6 \text{ m/s}$ . Ambos passam por um mesmo ponto na data zero.

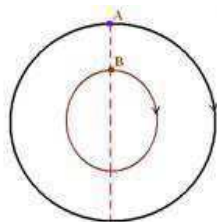


O corredor mais veloz estará com uma volta de vantagem sobre o outro na data: (considere  $\pi=3$ )

- a) 35s    b) 15s  
 c) 20s    d) 60s  
 e) 360s



**EP53.(UFAM)** Duas partículas A e B descrevem movimentos circulares e uniformes, no mesmo sentido, sobre circunferências concêntricas (figura), com períodos iguais a  $t_A=15s$  e  $T_B=10s$ , respectivamente.



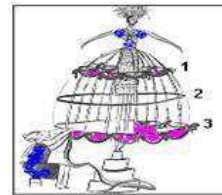
Para que as partículas retornem à configuração inicial mostrada na figura, depois de algum tempo, o menor número de voltas,  $N_A$  e  $N_B$ , que cada uma deve realizar é:

- a)  $N_A=5$ ;  $N_B=3$     b)  $N_A=2$ ;  $N_B=4$     c)  $N_A=3$ ;  $N_B=2$   
 d)  $N_A=4$ ;  $N_B=6$     e)  $N_A=2$ ;  $N_B=3$

**EP54. (FMS-SP)** Sobre uma circunferência com 60cm de raio, dois pontos animados de movimento uniforme se encontram a cada 30s quando se movem no mesmo sentido e a cada 10s quando se movem em sentidos opostos. Determine seus períodos.

**EP55. (CPS-SP)** Para dar o efeito da saia rodada, o figurinista da escola de samba coloca sob as saias das baianas uma armação formada por três tubos plásticos, paralelos e em forma de bambolês,

com raios aproximadamente iguais a  $r_1 = 0,50 \text{ m}$ ,  $r_2 = 0,75 \text{ m}$  e  $r_3 = 1,20 \text{ m}$ .



Adaptado de Revista Veja, nº 35, de 01/09/2004, p. 82.

Pode-se afirmar que, quando a baiana roda, a relação entre as velocidades angulares ( $W$ ) respectivas aos bambolês 1, 2 e 3 é

- a)  $W_1 > W_2 > W_3$     b)  $W_1 < W_2 < W_3$     c)  $W_1 = W_2 = W_3$   
 d)  $W_1 = W_2 > W_3$     e)  $W_1 > W_2 = W_3$

**EP56.(PUCCAMP-SP)** Em uma bicicleta que se movimenta com velocidade constante, considere um ponto A na periferia da catraca e um ponto B na periferia da roda.

Analise as afirmações:

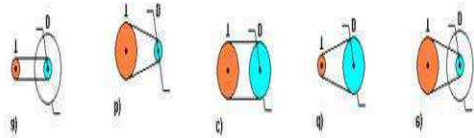
- I. A velocidade escalar de A é igual à de B.  
 II. A velocidade angular de A é igual à de B.  
 III. O período de A é igual ao de B.  
 Está correto SOMENTE o que se afirma em:

- a) I    b) II    c) III  
 d) I e III    e) II e III

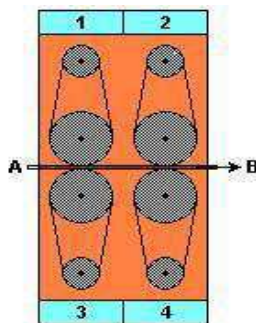
**EP57. (CPS)** Um cidadão brasileiro resolve construir uma bicicleta com objetivo de contribuir para a melhoria da qualidade do ar e de sua própria saúde.

A bicicleta possui uma corrente que liga uma coroa dentada dianteira (D) movimentada pelos pedais, a uma coroa localizada no eixo da roda traseira (T). O rendimento da roda traseira depende do tamanho relativo das coroas.

Dos esquemas das coroas representadas a seguir, a roda traseira que dá o maior número de voltas por pedaladas é:



**EP58. (ENEM)** Na preparação da madeira em uma indústria de móveis, utiliza-se uma lixadeira constituída de quatro grupos de polias, como ilustra o esquema ao lado. Em cada grupo, duas polias de tamanhos diferentes são interligadas por uma correia provida de lixa. Uma prancha de madeira é empurrada pelas polias, no sentido A ã B (como indicado no esquema), ao mesmo tempo em que um sistema é acionado para frear seu movimento, de modo que a velocidade da prancha seja inferior à da lixa.



O equipamento anteriormente descrito funciona com os grupos de polias girando da seguinte forma:

- a) 1 e 2 no sentido horário; 3 e 4 no sentido anti-horário.
- b) 1 e 3 no sentido horário; 2 e 4 no sentido anti-horário.
- c) 1 e 2 no sentido anti-horário; 3 e 4 no sentido horário.
- d) 1 e 4 no sentido horário; 2 e 3 no sentido anti-horário.
- e) 1, 2, 3 e 4 no sentido anti-horário.

**EP59. (UNIFESP-SP)** Três corpos estão em repouso em relação ao solo, situados em três cidades: Macapá, localizada na linha do Equador, São Paulo, no trópico de Capricórnio, e Selekhard, na Rússia, localizada no círculo Polar Ártico.

Pode-se afirmar que esses três corpos giram em torno do eixo da Terra descrevendo movimentos circulares uniformes, com

- a) as mesmas frequência e velocidade angular, mas o corpo localizado em Macapá tem a maior velocidade tangencial.
- b) as mesmas frequência e velocidade angular, mas o corpo localizado em São Paulo tem a maior velocidade tangencial.
- c) as mesmas frequência e velocidade angular, mas o corpo localizado em Selekhard tem a maior velocidade tangencial.
- d) as mesmas frequência, velocidade angular e velocidade tangencial, em qualquer cidade.
- e) frequência, velocidade angular e velocidade tangencial diferentes entre si, em cada cidade.

**EP60. (FUVEST-SP)** A Estação Espacial Internacional mantém atualmente uma órbita circular em torno da Terra, de tal forma que permanece sempre em um plano, normal a uma direção fixa no espaço.

Esse plano contém o centro da Terra e faz um ângulo de  $40^\circ$  com o eixo de rotação da Terra. Em um certo momento, a Estação passa sobre Macapá, que se encontra na linha do Equador. Depois de uma volta completa em sua órbita, a Estação passará novamente sobre o Equador



em um ponto que está a uma distância de Macapá de,

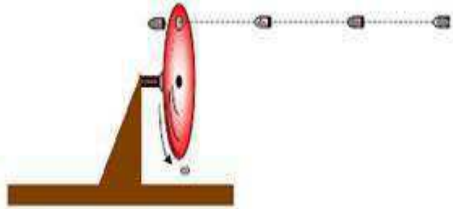
aproximadamente:

<b>Dados da Estação:</b>	
Período aproximado:	90 minutos
Altura acima da Terra:	~ 350 km
<b>Dados da Terra:</b>	
Circunferência no Equador:	~ 40 000 km

- a) zero km.
- b) 500 km
- c) 1 000 km

- d) 2 500 km      e) 5 000 km

**EP61. (UFPE)** Uma arma dispara 30 balas por minuto. Essas balas atingem um disco girante sempre num mesmo ponto atravessando



McLaren F1 LM, que atingia a um orifício. Qual é a frequência do disco, em rotações por minuto?

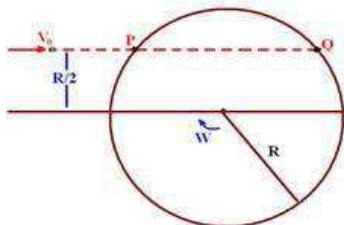
**EP62. (FATEC-SP)** As rodas dentadas A, B e C têm, respectivamente, 32, 64 e 96 dentes, como mostra a figura.



Sabendo que C, de raio 12cm, tem velocidade angular de 6 rad/s, a velocidade linear de um ponto da periferia da roda B e a velocidade angular da roda A são, respectivamente:

- a) 72 cm/s e 9,0 rad/s  
 b) 36 cm/s e 9,0 rad/s  
 c) 72 cm/s e 18 rad/s  
 d) 36 cm/s e 18 rad/s  
 e) 18 cm/s e 36 rad/s

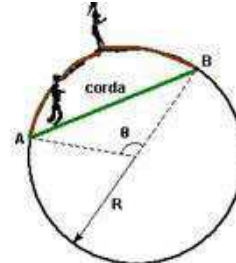
**EP63. (UNESP-SP)** Um disco horizontal, de raio  $R=0,50\text{m}$ , gira em torno de seu eixo com velocidade angular  $\omega = 2\pi \text{ rad/s}$ .



Um projétil é lançado de fora no mesmo plano do disco e rasante a ele, sem tocá-lo, com velocidade  $V_0$  (figura), passando sobre o ponto P. O projétil sai do disco pelo ponto Q, no instante em que o ponto P

está passando por aí pela primeira vez. Qual é a velocidade  $V_0$ ?

**EP64. (UFU-MG)** João e Maria apostam uma corrida numa pista circular de raio R. A figura a seguir mostra a vista de cima dessa pista.



João e Maria deveriam partir do ponto A e seguir para B no sentido horário. Porém, ele nota que ela está em ótima forma e que ele não teria a menor chance de ganhar a corrida. Em um ato de desespero, ao largar, João resolve correr ao longo da corda indicada na figura, chegando em B junto com Maria (que correu ao longo da circunferência, conforme o combinado). O arco AB forma um ângulo de abertura  $\theta$ .

Determine:

- a) a razão entre as velocidades de João ( $V_x$ ) e Maria ( $V_y$ ), em função do ângulo  $\theta$ . Para simplificar o problema, desconsidere a aceleração de largada e considere as velocidades de ambos como constantes.  
 b) o valor da razão  $V_x/V_y$  se o ângulo  $\theta$  for igual a  $60^\circ$ .

## II. SUGESTÕES PARA FAZER, LER, VISITAR OU ASSISTIR...

### Atividades práticas

- Observar e comparar o movimento diurno do Sol, da Lua e das estrelas fixas.
- Visitar um pêndulo de Foucault.
- Medir o dia sideral.
- Determinar os pontos cardeais com um gnômom e com uma bússola.



### Revistas

- Astronomy – <http://astronomy.com/>
- Scientific American Brasil – <http://www2.uol.com.br/sciam/>
- Ciência Hoje – <http://cienciahoje.uol.com.br/>

### Sítios

- Agência Espacial Brasileira – <http://www.aeb.gov.br/>
- Observatório Nacional – <http://www.on.br/>
- Planetários – <http://www.planetarios.org.br/>
- Inpe – <http://www.inpe.br/>
- Nasa – <http://www.nasa.gov/>



“Selfie” da LightSail com o Sol ao fundo.  
(Fonte: The Planetary Society)

- OBA – <http://www.oba.org.br/>
- Biblioteca Virtual de Astronomia – <http://www.prossiga.br/astronomia/>

### Filmes

- 2001: Uma Odisséia no Espaço
- O Céu de Outubro
- Impacto Profundo
- Da Terra à Lua
- Cosmos (Carl Sagan)
- Cosmos (Neil deGrasse Tyson)
- Os Eleitos
- 1492 – A Conquista do Paraíso
- A volta ao Mundo em 80 Dias
- A Máquina do Tempo
- APOLLO 13
- O Planeta Vermelho
- O Núcleo – Missão ao Centro da Terra (2003)
- Guerra dos Mundos (1952)
- Guerra dos Mundos (2005)
- Prometheus
- Interestelar
- Perdido em

## Capítulo 4: Acelerando uma Nave Espacial

### I. INTRODUÇÃO

Já conhecemos a jornada vivida pelas sondas *Voyager* pelo sistema solar e para além, mas não tem ninguém com elas nessa aventura. Quando a espécie humana terá representantes em aventuras como esta, espaço afora? As sondas viajam a velocidades da ordem de quilômetros por segundo e, mesmo assim, terão que esperar milhares de anos para chegar às estrelas mais próximas do Sol. Como então superar esse problema? Fácil! Vamos acelerar as sondas. Porém acelerar exige combustível e acelerar por muito tempo, muito combustível. Como então resolver o problema do combustível?

No séc. XVI Johannes Kepler propôs usar a energia solar para impulsionar objetos pelo espaço, ideia adotada por Carl Sagan através do uso de velas solares que usam como propulsão a pressão de radiação do Sol. Com a propulsão gerada as futuras naves espaciais, quem sabe tripuladas, não precisariam de qualquer tipo de combustível podendo ser aceleradas por longos períodos de tempo gerando velocidades bem maiores que aquelas das

sondas e muito antes de sair do sistema solar. As acelerações seriam muito pequenas o que é bom, quando pensamos no conforto dos exploradores espaciais, pois grandes acelerações não são muito agradáveis lembrem-se das montanhas russas!

Nos dias atuais a Sociedade Planetária, uma ONG fundada em 1980 por Carl Sagan, **Bruce C. Murray** (1931-2013) e **Louis Friedman** (1941-), está desenvolvendo o projeto da **LightSail**

que foi lançada com sucesso no dia 20 de maio de 2015 e, segundo Bill Nye executivo-chefe da Sociedade Planetária, esta missão está servindo como teste para um lançamento bem mais ambicioso em 2016.

Mencionei anteriormente que estes objetos (as sondas) estão fazendo hoje o que as caravelas fizeram nas grandes navegações a 500 anos atrás, mas quando pensamos em velas solares parece que as verdadeiras “caravelas espaciais” estão sendo desenvolvidas agora.

Emocionante, hein? Será que chegaremos a presenciar a construção de uma dessas “caravelas espaciais” num futuro não tão distante?

**VENTO SOLAR É O NOME DADO  
AO FLUXO DE MATÉRIA  
(PRÓTONS E ELÉTRONS LIVRES)  
E ENERGIA VINDAS DO SOL.**

## II. UMA NOVA TERRA

A viagem das sondas *Voyager* teve início em 1977, porém “nossa” chegada ao espaço se deu bem antes, em 4 de outubro de 1957, quando o Sputnik (uma esfera de meio metro de diâmetro), primeiro satélite artificial a ser lançado pela humanidade, entrou em órbita e assim permaneceu por três meses. Daqui da Terra, ao longo de sua história, a humanidade desvendou a forma da Terra, sua posição no sistema solar, as leis obedecidas pelos planetas e satélites naturais em suas órbitas bem como a forma dessas órbitas, descobriu satélites naturais em outros planetas, inúmeras galáxias e que estas estavam se afastando umas das outras (fato que levou à teoria do Big Bang) e muito mais. Imaginem só, a partir desse momento histórico em que o homem conseguiu sair de nosso planeta e depois poder observar de maneira privilegiada (olhando “de fora”) para ele, as inúmeras possibilidades de descobertas acerca de nosso lar no sistema solar e também de outros planetas. Pois é, a partir do momento que nos lançamos ao espaço, conhecemos um “novo planeta” a Terra vista de fora.



Nascer da Terra no horizonte da Lua. Crédito: NASA

---

### Campo magnético terrestre

---

O comportamento da Terra como um grande ímã é conhecido, pela humanidade, desde a antiguidade, tanto que, a cerca de 3 000 anos atrás os chineses já se utilizavam de bússolas para orientação em suas jornadas. No entanto, a interação entre o campo magnético terrestre e o vento solar era quase desconhecida. Só depois que “saímos” da Terra que podemos começar a desvendar esse mistério. Na verdade, o campo magnético terrestre atua

como uma proteção contra o vento solar, sem essa proteção o vento solar impossibilitaria a vida na Terra.

A explicação mais aceita para a origem do campo magnético terrestre é a de que um campo magnético fraco presente em todo o sistema solar produz, por indução, correntes elétricas no fluido metálico que compõe o núcleo externo da Terra; devido ao movimento de rotação da Terra e de convecção do fluido essas correntes elétricas espiralam gerando, então, o campo magnético da Terra.

Num ímã polos iguais se repelem e diferentes se atraem, logo como o polo norte magnético de uma bússola aponta para o norte geográfico é porque lá está um polo sul magnético, da mesma forma, o polo norte magnético está no sul geográfico. Na verdade, o sul magnético não está exatamente no mesmo local que o polo norte geográfico e nem o norte magnético está exatamente no mesmo local que o polo sul geográfico, o eixo que liga os polos norte e sul magnéticos está inclinado  $11,5^\circ$  em relação ao eixo de rotação da Terra.

O primeiro satélite artificial, o Sputnik, não tinha equipamentos para estudar o campo magnético terrestre e seus sucessores, Sputnik 2 (1957) e Sputnik 3 (1958), que estavam equipados para tal missão, devido à defeitos no equipamento, falharam. Mas o mesmo não aconteceu com o satélite artificial americano Explorer 1 que fez as medições necessárias. De posse desses dados **James Van Allen** (1914-2006) comprovou a existência do cinturão de radiação que envolve a Terra. Diz-se “comprovou”, porque a existência desses cinturões já havia sido proposta teoricamente. Mais adiante, através de dados fornecidos por satélites mais modernos verificou-se que, na verdade, são dois cinturões.



Aurora boreal. Crédito: [dailymail.co.uk/](http://dailymail.co.uk/)

No encontro desses cinturões com a atmosfera terrestre (próximo aos polos), partículas energéticas, predominantemente elétrons, capturadas por eles se chocam com as moléculas do ar. O oxigênio, ao ser excitado por esses elétrons, emite luz azul-esverdeada enquanto que o nitrogênio emite luz avermelhada. Em altas latitudes essas emissões dão origem a lindos espetáculos de luz, as auroras boreais (no Norte) e austrais (no Sul).

O entendimento da interação entre o campo magnético terrestre e a radiação solar, bem como, seu mapeamento, também tem aplicações para as viagens espaciais, já que a radiação solar a que um astronauta estaria submetido nesses cinturões o levaria rapidamente à morte. Até os equipamentos eletrônicos presentes em missões não tripuladas poderiam ser danificados, ou mesmo, destruídos sob ação prolongada da radiação nesses cinturões.

---

### Atmosfera terrestre



Yuri A.  
Gagarin.  
Crédito:  
[ahistoria.co](http://ahistoria.co)

“A Terra é azul”, foi o que **Yuri Alekseievitch Gagarin** (1934-1969) disse, em 12 de abril de 1961, quando a observou do espaço. Essa linda coloração é fruto da interação da atmosfera, a camada gasosa que

envolve nosso planeta, com a luz solar; a atmosfera espalha a componente azul da luz solar. Só depois que chegamos ao espaço foi que começamos a estudar nossa atmosfera por inteiro e, só então, passamos a entendê-la completamente.

Como já foi dito, a atmosfera é a camada gasosa que envolve a Terra sendo composta basicamente por nitrogênio,  $N_2$ , e oxigênio,  $O_2$ , correspondendo a 78 % e 21 %, respectivamente, de seu volume. No 1 % restante encontramos argônio (gás nobre), vapor d'água,  $H_2O$ , dióxido de carbono (gás carbônico),  $CO_2$ , ozônio,  $O_3$ , e metano,  $CH_4$ . Estes últimos ( $CO_2$  e  $CH_4$ ), são os principais causadores do efeito estufa natural que impede a saída de energia, na forma de radiação infravermelha, aquecendo o planeta.

À medida que nos afastamos da superfície a densidade da atmosfera diminui até que chegamos ao espaço, que começa oficialmente a 100 km de altitude. No entanto, mesmo a 500 km de altitude ainda há a presença de alguns átomos de hidrogênio.

Em função da temperatura e altitude, a atmosfera está dividida em:

- Troposfera: Estende-se até 17 km de altitude nos trópicos e até 7 km nos polos (tendo uma espessura média de 12 km), é a camada mais quente, nela voam os aviões e acontecem a maioria dos fenômenos atmosféricos.
- Estratosfera: Chegando a cerca de 50 km de altitude, apresenta baixa umidade, exerce influência no tempo e clima na troposfera e nela está a camada de ozônio,  $O_3$ , que absorve boa parte da radiação ultravioleta do Sol.
- Mesosfera: Estende-se até cerca de 80 km de altitude sendo uma das camadas menos compreendidas por estar alta demais para aviões e balões atmosféricos e baixa demais para os satélites (apenas foguetes suborbitais podem ser usados para estudá-la).
- Termosfera: Estendendo-se até quase 700 km de altitude, nela ocorrem as auroras boreal e austral, sua temperatura aumenta gradativamente com o aumento da altitude, suas moléculas apresentam alta energia cinética, porém devido ao ar rarefeito um termômetro indicaria temperaturas muito baixas.
- Exosfera: estende-se até o espaço exterior sendo composta principalmente de hidrogênio e hélio.

## Leitura complementar

### **Astrofísicos propõem novo tipo de busca por aliens: achar quem está atrás de nós.**

Entre 60 km e 400 km, abrangendo partes da mesosfera e da termosfera, temos uma outra camada que não faz parte da divisão que mostramos anteriormente – a **ionosfera**. A ionosfera é composta por íons resultantes da

interação das moléculas do ar com a radiação vinda do espaço. Na ionosfera ocorre a reflexão de certos comprimentos das ondas de rádio, ou seja, as ondas de rádio são refletidas de volta para a Terra e, dessa maneira subindo, refletindo-se e voltando, podem chegar do outro lado do mundo.

Uma dupla de astrofísicos propôs uma nova estratégia para buscarmos vida extraterrestre inteligente: apontar os telescópios na direção em que, caso exista vida lá fora, alguém talvez já tenha nos encontrado.

“Estamos mais interessados na resposta para a pergunta: em que parte do céu eles estão?”, declarou René Heller, astrofísico do Instituto Max Planck para Pesquisas sobre o Sistema Solar, situado em Göttingen, na Alemanha, e coautor do [estudo que detalha a estratégia](#) publicado na última terça-feira na revista *Astrobiology*.

Um dos nossos métodos de busca por planetas similares ao nosso é uma técnica chamada observação de trânsito: estudamos os céus na expectativa de avistar um planeta cortando caminho entre nós e sua estrela, movimentação percebida por meio de uma ligeira perda de brilho na estrela.

Podemos usar essa técnica para determinar o tamanho do planeta e até tecer observações sobre [sua atmosfera](#). É um método eficaz que já nos [conduziu à descoberta](#) de milhares de exoplanetas e fez Heller e seu coautor, Ralph Pudritz, refletirem: talvez não fomos os únicos a pensar nisso.

Heller e Pudritz calcularam em que parte do universo outra vida inteligente precisaria estar para contemplar a Terra em trânsito em frente ao Sol. Eles a intitularam zona de trânsito da Terra (“Earth transit zone”, ou ETZ).

A dupla propôs que trabalhássemos com a engenharia reversa da técnica de observação de trânsito para determinar onde começar a busca por vida extraterrestre inteligente com foco nas áreas do universo contidas na ETZ. O pensamento é que, se podem nos ver, e se forem tão avançados quanto nós, ou mais, é capaz que estejam enviando sinais, tentando contato.

“Quem nos avistar transitando em frente ao Sol tem chances de descobrir que a Terra é habitável ou mesmo habitada”, me contou Heller ao telefone. “Se houver uma distribuição aleatória de potenciais observadores universo afora, aqueles que estiverem nessa gama — na zona de trânsito da Terra — têm mais chances de nos detectar e contatar.”

Projetos de busca por vida extraterrestre estão em andamento [desde os anos 60](#), mas os pesquisadores agora planejam um novo e anabolizado plano estratégico chamado [Breakthrough Initiative](#) (Iniciativa de Avanço). O empreendimento conta com o apoio de Stephen Hawking e [financiamento](#) do bilionário russo Yuri Milner. A equipe usará radiotelescópios situados na Terra para atentar a sinais de vida inteligente originários de algum outro lugar do universo.

**“Se nunca encontrarmos evidências, será mais fácil presumir que não existem.”**

A questão é que o universo é muito grande. Precisamos pensar com cuidado por onde começar a busca. Heller e Pudritz acreditam que sua estratégia será uma ótima abordagem para resolver o dilema da largada. Como ponto de partida, chegaram a incluir no artigo uma tabela com as 82 estrelas contidas na ETZ que podem ter planetas suscetíveis a vida. Há vários tipos diferentes de sinais que podemos procurar — de [pulsos de raio laser](#) a possíveis [megaestruturas](#) —, e agora esse estudo oferece um lugar prudente para iniciarmos a busca.

TABLE I. K DWARF STARS (45 BY NUMBERS) AND G DWARF STARS (37) WITHIN 1 KPC FROM THE SUN AND INSIDE THE RESTRICTED ETZ.

Identifier	ICRS coordinates J2000/2000	Ecliptic coordinates J2000/2000	Proper Motion mas/yr	Parallax mas	Dist. pc	V mag.	Sp. T.
HR 222	00 48 22.97665 +05 16 50.2129	013.1821587 +00.0825339	757.11 -1141.33	134.14 <sup>(±0.23)</sup>	7.45 <sup>+0.07</sup> <sub>-0.07</sub>	5.74	K2.5V
GJ 757	19 24 34.23191 -22 03 43.8557	289.5287641 -00.0448508	-236.43 -454.54	34.11 <sup>(±0.11)</sup>	29.32 <sup>+1.93</sup> <sub>-1.71</sub>	10.9	K8Vk:
HD 53532	07 06 16.80335 +22 41 00.5537	105.2557439 +00.1174720	-89.98 -78.56	23.60 <sup>(±0.82)</sup>	42.37 <sup>+1.11</sup> <sub>-1.42</sub>	8.27	G0V
HD 115153	13 15 30.76740 -08 03 18.5701	200.4670388 -00.0647171	-42.18 58.71	23.76 <sup>(±0.67)</sup>	42.09 <sup>+1.22</sup> <sub>-1.33</sub>	8.06	G5
LTT 11954	06 57 46.33755 +22 53 33.1761	103.2837246 +00.1168203	-142.85 -142.91	23.12 <sup>(±0.66)</sup>	43.25 <sup>+1.27</sup> <sub>-1.20</sub>	7.63	G0
HD 108754	12 29 42.73517 -03 19 58.6869	188.1369160 -00.1147546	-327.65 -562.26	20.56 <sup>(±0.99)</sup>	48.64 <sup>+2.48</sup> <sub>-2.11</sub>	9.03	G7V
G 3-38	02 03 33.03157 +12 35 04.9890	033.1168429 +00.0348568	381.09 -51.86	20.30 <sup>(±0.71)</sup>	49.26 <sup>+1.01</sup> <sub>-1.61</sub>	11.54	K7
HD 20477	03 18 19.98264 +18 10 17.8452	051.9747902 -00.0924300	-84.56 -103.48	20.16 <sup>(±0.64)</sup>	49.60 <sup>+1.63</sup> <sub>-1.53</sub>	7.54	G0
HD 78451	09 08 49.27841 +16 25 03.5462	134.7386517 +00.0053713	-40.57 -71.38	18.21 <sup>(±0.91)</sup>	54.91 <sup>+0.44</sup> <sub>-1.57</sub>	9.47	G5
StKM 2-1619	22 31 18.99284 -09 25 34.7527	336.0020753 -00.1250324	-141.48 -195.84	17.90 <sup>(±0.60)</sup>	55.87 <sup>+0.49</sup> <sub>-0.69</sub>	11.15	K5V
...	...	...	...	...	...	...	...

Algumas das estrelas que Heller e Pudritz destacaram como boas candidatas para iniciarem a busca. Créditos: [Astrobiology](#)

É claro que, sempre que pensamos sobre a busca por vida extraterrestre inteligente, surge um problema: o [paradoxo de Fermi](#). É a contradição entre nossas estimativas sobre como a vida deve se manifestar no universo e a realidade, isto é, o fato de ainda não termos encontrado quaisquer evidências de vida fora da Terra. Heller disse que é uma grande questão, mas há diversas explicações para o fato de ainda não termos feito contato.

“Pode ser que qualquer nível de tecnologia, não importa o quão avançada, não seja suficiente para a [viagem](#) interestelar”, disse Heller. “Ou talvez não exista alguém lá fora capaz de viajar.”

Heller também citou a teoria de que estamos cercados de vida alienígena, mas de alguma forma ela é capaz de permanecer oculta, indetectável, para que nunca a encontremos.

“Eu diria que se isso for verdade e nunca encontrarmos evidências, será mais fácil presumir que não existem. A possibilidade evoca variáveis demais, pelo menos para os humanos”, disse Heller.

E isso é apenas parte do problema. Se aceitarmos a probabilidade de haver vida em outro lugar do universo, também temos que aceitar que existem quase infinitas manifestações dessa vida e que [talvez não sejamos capazes de](#) reconhecê-la ou percebê-la.

Nossa busca pela compreensão da vida no universo está limitada à nossa própria experiência e é por isso que a engenharia reversa da observação de trânsito soa como uma boa ideia. Capaz que vidas extraterrestres jamais considerem procurar por nós da forma que procuramos por elas, mas é o que temos em mãos. É um ponto de partida.

De qualquer forma, logo estaremos atrás de vislumbres de vida inteligente em estrelas longínquas e, agora, temos uma primeira sugestão de mapa.



Escrito por

**KALEIGH ROGERS**

4 March 2016 // 04:51 PM CET

# Você, astrônomo!

## Estrelas fixas.

O movimento diurno pode ser entendido como uma rotação aparente de toda a esfera celeste; esse movimento não altera a posição relativa entre as estrelas da esfera celeste mantendo a forma das constelações. Essas estrelas que, por estarem muito distantes da Terra, não têm sua posição alterada com o movimento diurno são as estrelas fixas.

No entanto, Sol, Lua, planetas e cometas estão perto de nós e mostram movimento aparente em relação às estrelas fixas, ou seja, não estão fixos na esfera celeste e não prestam para a determinação do dia sideral. Esse movimento aparente pode ser devido ao próprio movimento do astro ou à paralaxe.

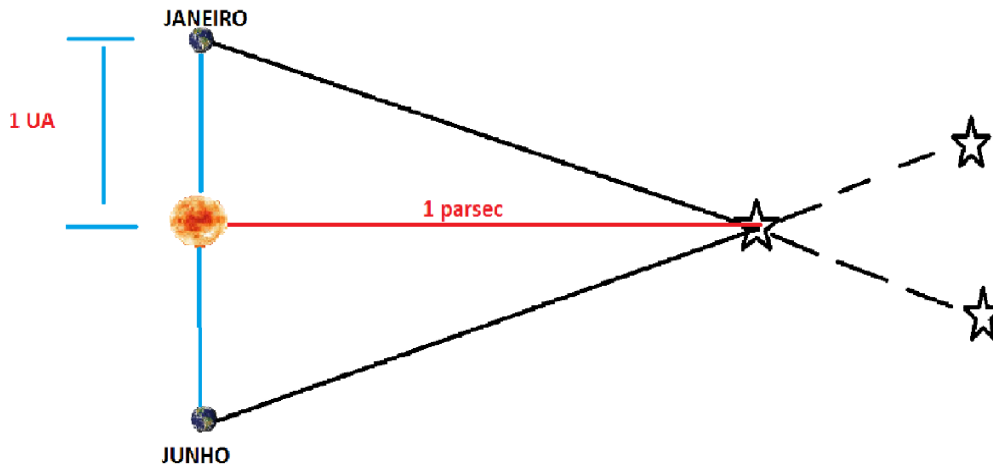
Os movimentos próprios de um astro podem sobre a esfera celeste, o astro desloca-se de um ponto a outro na esfera celeste (podendo ser medido por deslocamento angular) ou, se afasta, ou se aproxima da Terra (podendo ser medido através do efeito Doppler, sinais de radar ou variação no seu tamanho); nesse movimento o astro não muda de posição na esfera celeste.

Percebe-se facilmente o movimento próprio dos astros do sistema solar quando os fixamos no centro das fotografias astronômicas durante longos períodos de tempo. As estrelas ao fundo aparecem como rastros luminosos.



Polo sul celeste visto de San Pedro de Atacama – Chile (Fonte: [jorgecarrano.blogspot.com.br/](http://jorgecarrano.blogspot.com.br/))

O astro também pode apresentar um deslocamento na esfera celeste devido ao movimento do observador (da Terra), chamado de paralaxe. Para entender melhor, escolha um ponto fixo, um armador de redes na parede, por exemplo; cubra seu olho esquerdo e estenda seu braço com o dedo indicador levantando-o de maneira a cobrir o armador, em seguida, descubra o olho



Note que a estrela é vista em posições diferentes dependendo da posição do observador (Terra).

esquerdo e cubra o direito. Você terá a impressão de que o armador mudou de lugar, a isso damos o nome de paralaxe.

A paralaxe pode ser medida entre dois pontos separados de 2 UA (1 UA = distância média entre a Terra e o Sol, cerca de 150 milhões de km.). Com observações feitas em intervalos de seis meses.

### III. MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO



Cajueiro de Pirangi "Maior cajueiro do mundo".  
(Fonte: [viajaretudibom.blogspot.com.br](http://viajaretudibom.blogspot.com.br))

Iniciaremos agora o estudo de um movimento onde a velocidade instantânea varia de maneira uniforme, ou seja, sofre variações iguais em intervalos de tempo também iguais.

Exemplos de tal movimento nos cercam: a queda de um caju, num dia sem vento (desprezada a resistência do ar), o movimento de subida e descida de uma moeda ao ser lançada verticalmente para cima e a frenagem de um carro



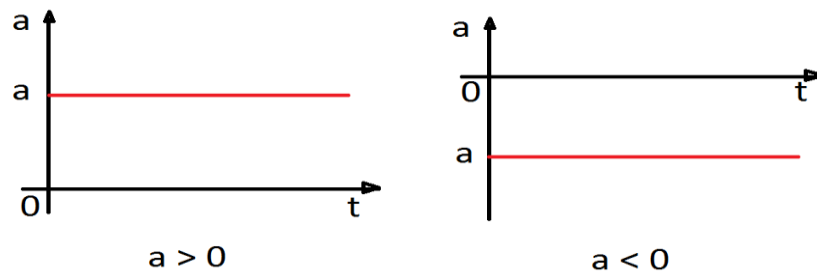


até parar (aproximadamente), além de outras situações, não tão comuns, como a decolagem de um avião e certa fase da subida de um foguete, que podem ser aproximados a movimentos uniformemente variados.

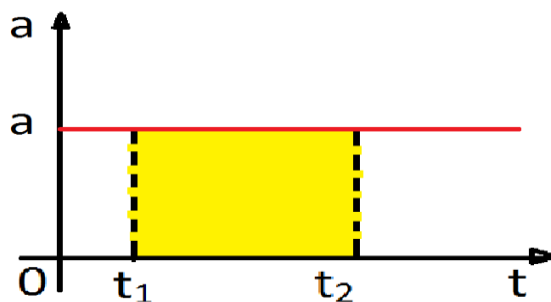
Movimento Uniformemente Variado (MUV) é aquele movimento em que a aceleração instantânea é constante e diferente de zero.

### Gráfico da aceleração em função do tempo para o MUV

Como no MUV a aceleração é constante e diferente de zero, sua representação gráfica será uma das duas representações abaixo:



Considere o gráfico da aceleração,  $a$ , em função do tempo,  $t$ , para o MUV abaixo, onde está destacada uma região retangular entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .



Calculando a área da região retangular encontramos:

$$A = \text{base} \times \text{altura} = (t_2 - t_1)a$$

$$\therefore A = \Delta t a, \text{ equação (1)}$$

Como, no MUV, a aceleração média,  $a_m$ , em qualquer intervalo de tempo, é igual a aceleração instantânea,  $a$ , ( $a_m = a$ ):

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

$$\therefore \Delta v = \Delta t a, \text{ equação (2)}$$

Comparando (1) e (2), temos:

$$A = \Delta v$$

Fazemos aqui ressalva semelhante àquela que foi feita na propriedade do gráfico da velocidade em função do tempo para o MU, ou seja, o valor encontrado para “área”, a partir do gráfico, não tem o mesmo significado da

área da figura plana (no caso, o retângulo), já que é o resultado do produto de aceleração por tempo, ou seja, não tem dimensão de área e sim de velocidade.

A “área” entre o gráfico e o eixo dos tempos, entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ , no gráfico da aceleração escalar,  $a$ , contra o tempo,  $t$ , fornece a variação da velocidade escalar entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

$$A = \Delta v$$

### Função horária da velocidade para o MUV

Como dissemos anteriormente, no MUV, a aceleração média,  $a_m$ , em qualquer intervalo de tempo, sempre será igual a aceleração instantânea,  $a$ , ou seja,

$$a_m = a$$

Como:  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

$$\therefore a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}, v_0 = \text{velocidade em } t_0 \text{ (origem dos tempos)}$$

Fazendo  $t_0 = 0$ , temos:

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$\therefore v - v_0 = at$$

$$\therefore v = v_0 + at$$

Na expressão acima encontramos a velocidade como função do tempo sendo, então, chamada de função horária da velocidade.

A função horária da velocidade escalar para o movimento uniformemente variado (MUV) é dada pela expressão:

$$v = v_0 + at$$

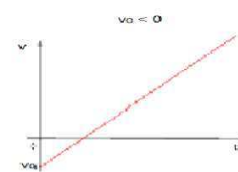
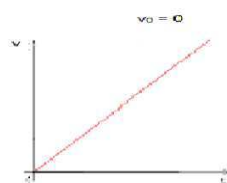
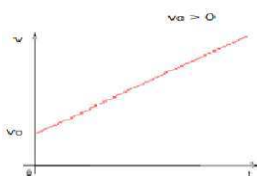
Note que:

- Com a função horária da velocidade instantânea podemos encontrar a velocidade,  $v$ , em qualquer instante,  $t$ , do movimento.
- Para encontrar a função horária da velocidade instantânea para o MUV precisamos conhecer a velocidade inicial,  $v_0$ , e a aceleração,  $a$ , do móvel.
- A função horária da velocidade instantânea para o MUV é do primeiro grau na variável  $t$ .

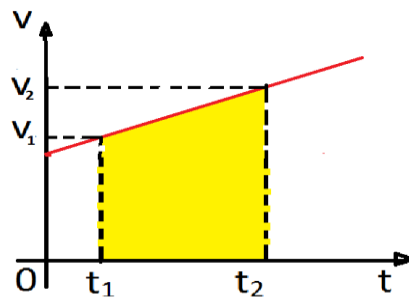
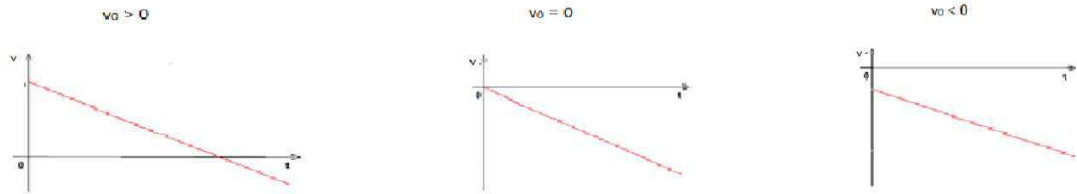
### Gráfico da velocidade em função do tempo para o MUV

Para um móvel em **MUV**, cuja função horária da velocidade instantânea é do primeiro grau em  $t$ , a representação gráfica é um segmento de reta inclinado em relação aos eixos das velocidades e dos tempos e, de acordo com a velocidade inicial e aceleração, pertencerá a um dos casos a seguir:

**1º caso: Aceleração positiva ( $a > 0$ )**



## 2º caso: Aceleração negativa ( $a < 0$ )



No capítulo anterior demonstramos, para o caso em que o móvel descreve um MU, que “área” entre o gráfico e o eixo dos tempos, entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ , no gráfico da velocidade,  $v$ , contra o tempo,  $t$ , fornece a variação de posição entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

Esta propriedade é válida para qualquer movimento, logo, na área destacada acima, no gráfico da velocidade em função do tempo para o MUV temos:

$$A = \Delta x$$

A partir desta propriedade podemos deduzir outra importante propriedade válida para o MUV.

Na área destacada temos a figura plana trapézio (o trapézio só aparece entre instantes,  $t_1$  e  $t_2$ , de gráficos de  $v$  contra  $t$  para um movimento uniformemente variado) cuja área é dada por:

$$A = \frac{(\text{base maior} + \text{base menor})}{2} \cdot \text{altura} = \frac{(v_2 + v_1)}{2} \cdot (t_2 - t_1)$$
$$\therefore \Delta x = \frac{(v_2 + v_1)}{2} \cdot (t_2 - t_1)$$

Como:

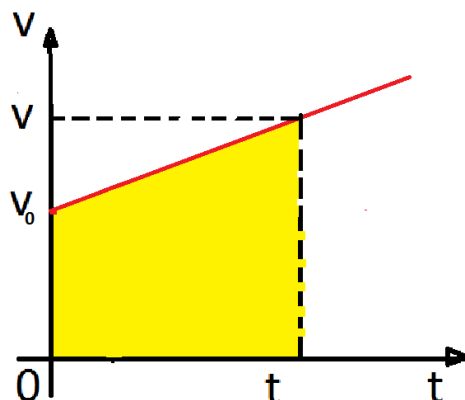
$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$
$$\therefore v_m = \frac{\frac{(v_2 + v_1)}{2} \cdot (t_2 - t_1)}{(t_2 - t_1)}$$
$$\therefore v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

No movimento uniformemente variado a velocidade média,  $v_m$ , entre dois instantes,  $t_1$  e  $t_2$ , é a média aritmética entre as velocidades nesses instantes.

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

### Função horária da posição para o MUV

Considere o gráfico da velocidade em função do tempo para o MUV abaixo. No movimento representado a partícula ocupa, no instante  $t_0 = 0$ , a posição  $s_0$  com velocidade  $v_0$ .



Para a área marcada temos:

$$\Delta x = \frac{(v + v_0)}{2} \cdot t$$

Como:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x - x_0 \quad \text{e} \quad v = v_0 + at \\ \therefore x - x_0 &= \frac{(v_0 + at + v_0)}{2} \cdot t = \frac{2v_0t + at^2}{2} \\ \therefore x &= x_0 + v_0t + \frac{a}{2}t^2 \end{aligned}$$

A função horária dos espaços para o movimento uniformemente variado (MUV) é dada pela expressão:

$$x = x_0 + v_0t + \frac{a}{2}t^2$$

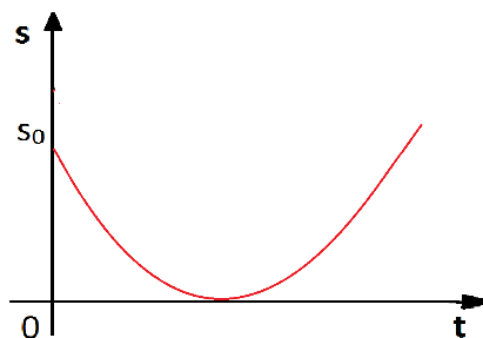
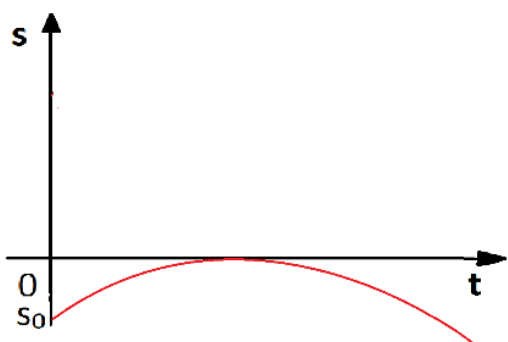
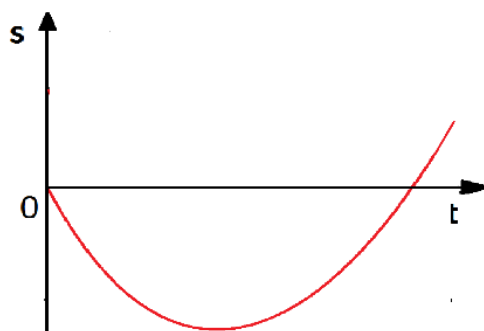
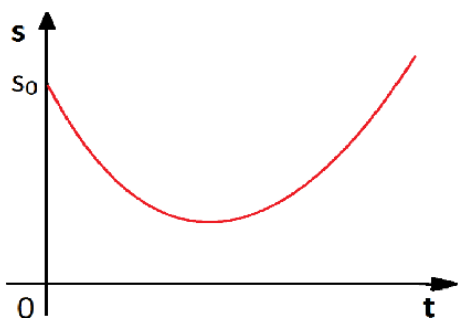
Note que:

- Para encontrar a função horária da posição para o MUV precisamos conhecer a posição inicial,  $x_0$ , a velocidade inicial,  $v_0$ , e a aceleração,  $a$ , do móvel.
- A função horária da posição para o MUV é do segundo grau na variável  $t$ .

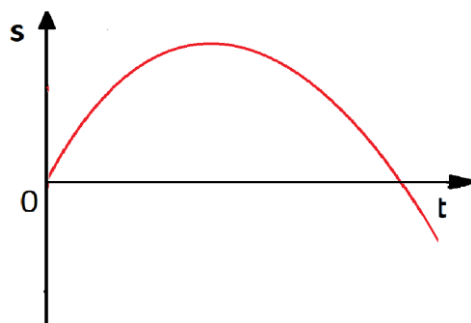
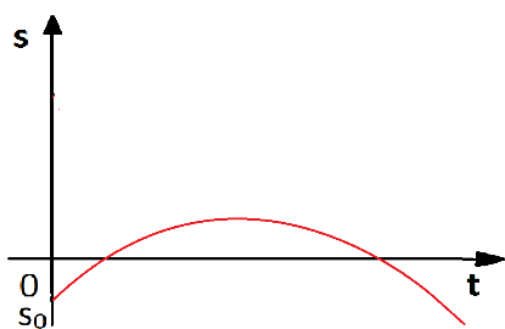
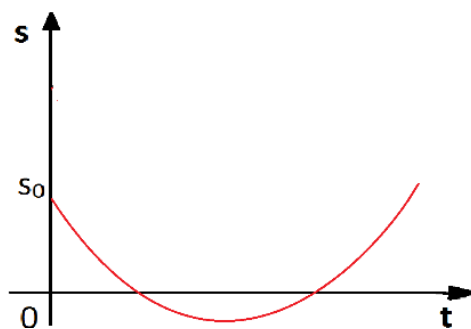
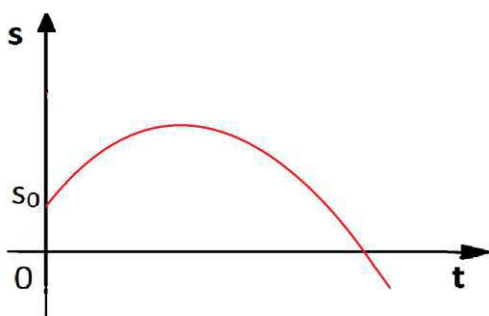
### Gráfico da posição em função do tempo para o MUV

Como a função horária da posição para o MUV é do segundo grau na variável  $t$ , seu gráfico será um arco de parábola. O arco terá concavidade para cima quando a aceleração for positiva e concavidade para baixo caso contrário, aceleração negativa. A parábola poderá, ainda, “tocar” ou não o eixo dos tempos; em, não tocando, o móvel não passa pela origem das posições.

**1º caso: Aceleração positiva ( $a > 0$ )**



**2º caso: Aceleração negativa ( $a < 0$ )**

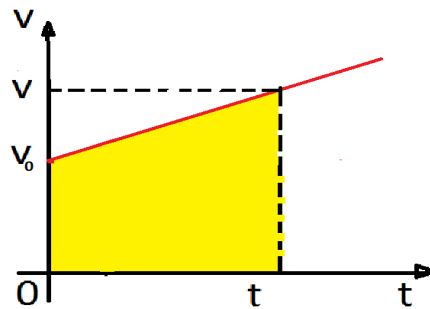


Note que:

- No vértice da parábola ocorre inversão no sentido do movimento, ou seja, a velocidade é nula.

### Equação de Torricelli

Considere o gráfico da velocidade em função do tempo para o MUV abaixo. No movimento representado a partícula ocupa, no instante  $t_0 = 0$ , a posição  $x_0$  com velocidade  $v_0$ .



Para a área marcada temos:

$$\Delta x = \frac{(v + v_0)}{2} \cdot t, \text{ equação (1)}$$

Como:

$$v = v_0 + at$$
$$\therefore t = \frac{v - v_0}{a}, \text{ equação (2)}$$

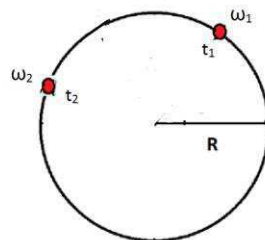
Substituindo (2) em (1), temos:

$$\Delta x = \frac{(v + v_0)}{2} \cdot \frac{(v - v_0)}{a}$$
$$\therefore v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$$
$$\therefore v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

A equação acima, que relaciona a velocidade,  $v$ , com a posição,  $x$ , no MUV, é chamada de equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

## IV. MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE VARIADO



Na figura acima encontramos uma partícula em movimento circular com as velocidades angulares  $\omega_1$  e  $\omega_2$  nos instantes  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente. O quociente da variação da velocidade angular instantânea,  $\Delta\omega$ , pelo intervalo de tempo,  $\Delta t$ , decorrido para realizá-lo nos indica como, em média, variou a velocidade angular instantânea no decorrer do tempo; sendo chamado de aceleração média angular,  $\alpha_m$ .

A aceleração média angular,  $\alpha_m$ , é o quociente entre a variação da velocidade angular instantânea ( $\Delta\omega$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) transcorrido durante essa variação.

$$\alpha_m = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Como encontramos o valor da aceleração média angular a partir de um quociente entre variação de velocidade angular instantânea e intervalo de tempo, sua unidade de medida será dada pelo quociente entre unidades de medida de velocidade angular e unidades de medida de tempo.

$$\text{unid SI } (\alpha_m) = \frac{\frac{\text{rad}}{\text{s}}}{\text{s}} = \text{rad/s}^2$$

Deduzimos anteriormente que:

$$\omega = \frac{v}{R}$$

$$\therefore \omega_1 = \frac{v_1}{R} \quad \text{e} \quad \omega_2 = \frac{v_2}{R}, \text{ equações (1)}$$

Vimos que:  $\alpha_m = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$

$$\therefore \alpha_m = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}$$

Substituindo as equações (1) em (2), temos:

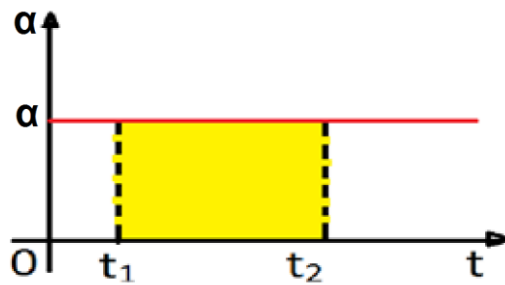
$$\alpha_m = \frac{\frac{v_2}{R} - \frac{v_1}{R}}{\Delta t}$$

$$\therefore \alpha_m = \frac{1}{R\Delta t} \cdot (v_2 - v_1) = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Como:  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

$$\therefore \alpha_m = \frac{a_m}{R}$$

Semelhante ao gráfico da aceleração linear instantânea em função do tempo, a “área” entre o gráfico da aceleração angular instantânea e o eixo dos tempos nos fornece a variação da velocidade angular do móvel.



A “área” destacada entre o gráfico e o eixo dos tempos, entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ , no gráfico da aceleração angular,  $\alpha$ , contra o tempo,  $t$ , fornece a variação da velocidade angular entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

$$A = \Delta\omega$$

Para calcularmos a aceleração angular num dado instante,  $t$ , calculamos o valor que o quociente  $\Delta\omega/\Delta t$  assumirá a medida que o intervalo de tempo,  $\Delta t$ , estiver tendendo a zero. Para tal, é necessário o uso do cálculo diferencial e integral que não abordaremos neste curso.

A aceleração angular instantânea,  $\alpha$ , num dado instante,  $t$ , é expressa matematicamente por:

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

A relação que encontramos para as acelerações média angular e linear também é válida para as acelerações instantâneas, assim:

$$\alpha = \frac{a}{R}$$

### Movimento Circular Uniformemente Variado (MCUV)

No movimento circular uniformemente variado as expressões utilizadas têm a mesma forma que aquelas usadas no MUV, onde as grandezas lineares são substituídas pelas suas correspondentes angulares. Veja as expressões lineares acompanhadas de suas correspondentes angulares, abaixo:

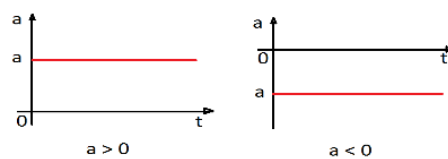
<b>Funções</b>	<b>horárias</b>	<b>da</b>	<b>velocidade:</b>
$v = v_0 + at$		$\omega = \omega_0 + \alpha t$	
<b>Funções</b>	<b>horárias</b>	<b>da</b>	<b>posição:</b>
$x = x_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2$		$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{\alpha}{2} t^2$	
<b>Equações</b>		<b>de</b>	<b>Torricelli:</b>
$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$		$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\Delta\theta$	

## V. RESUMO

- A Terra, devido ao seu campo magnético, comporta-se como um grande ímã.
- Sem a proteção, fornecida pelo campo magnético terrestre, o vento solar impossibilitaria a vida na Terra.



- Acredita-se que um campo magnético fraco presente em todo o sistema solar produz, por indução, correntes elétricas no fluido metálico que compõe o núcleo externo da Terra; devido ao movimento de rotação da Terra e de convecção do fluido essas correntes elétricas espiralam e geram o campo magnético da Terra.
- O polo norte magnético está no sul geográfico e o polo sul magnético está no norte geográfico.
- O norte magnético não está exatamente no mesmo local que o polo sul geográfico, da mesma forma o sul magnético não está exatamente no mesmo local que o polo norte geográfico. O eixo que liga os polos norte e sul magnéticos está inclinado  $11,5^\circ$  em relação ao eixo de rotação da Terra.
- Da análise dos dados fornecidos pelo satélite americano Explorer 1, **James Van Allen** (1914-2006) comprovou a existência do cinturão de radiação que envolve a Terra.
- O choque de partículas energéticas, capturadas pelos cinturões de radiação que envolvem a Terra, com as moléculas do ar dá origem às auroras boreal (no norte) e austral (no sul).
- O entendimento da interação entre o campo magnético terrestre e a radiação solar, bem como, seu mapeamento têm aplicações para as viagens espaciais.
- A atmosfera é a camada gasosa que envolve a Terra.
- A interação da atmosfera, espalhando a componente azul da luz solar, é a responsável por coloração sua azul.
- A atmosfera é composta basicamente por nitrogênio,  $N_2$  (78 %), e oxigênio,  $O_2$  (21 %). No 1 % restante encontramos argônio (gás nobre), vapor d'água,  $H_2O$ , dióxido de carbono (gás carbônico),  $CO_2$ , ozônio,  $O_3$ , e metano,  $CH_4$ .
- $CO_2$  e  $CH_4$  são os principais causadores do efeito estufa natural.
- No efeito estufa natural a energia, na forma de radiação infravermelha, é impedida de sair, aquecendo o planeta.
- O espaço começa oficialmente a 100 km de altitude, no entanto, mesmo a 500 km de altitude ainda há a presença de alguns átomos de hidrogênio.
- Em função da temperatura e altitude, a atmosfera está dividida em: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera.
- Movimento Uniformemente Variado (MUV) é aquele movimento em que a aceleração instantânea é constante e diferente de zero.
- Aceleração instantânea em função do tempo para o MUV:



- A “área” entre o gráfico e o eixo dos tempos, entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ , no gráfico da aceleração,  $a$ , contra o tempo,  $t$ , fornece a variação da velocidade entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

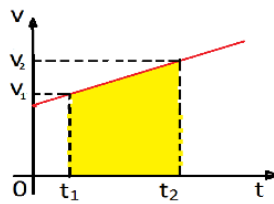


$$A = \Delta v$$

- A função horária da velocidade para o movimento uniformemente variado (MUV) é dada pela expressão:

$$v = v_0 + at$$

- Para um móvel em MUV, cuja função horária da velocidade é do primeiro grau em  $t$ , a representação gráfica é um segmento de reta inclinado em relação aos eixos das velocidades e dos tempos.



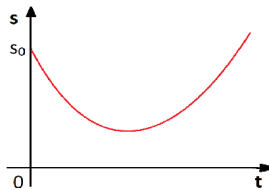
- No movimento uniformemente variado a velocidade média,  $v_m$ , entre dois instantes,  $t_1$  e  $t_2$ , é a média aritmética entre as velocidades nesses instantes.

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

- A função horária da posição para o movimento uniformemente variado (MUV) é dada pela expressão:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2$$

- Para um móvel em MUV, cuja função horária da posição é do segundo grau em  $t$ , a representação gráfica é um arco de parábola.



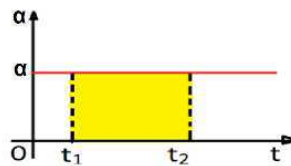
- A equação acima, que relaciona a velocidade,  $v$ , com a posição,  $x$ , no MUV, é chamada de equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

- A aceleração média angular,  $\alpha_m$ , é o quociente entre a variação da velocidade angular instantânea ( $\Delta\omega$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) transcorrido durante essa variação.

$$\alpha_m = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

- Aceleração angular instantânea em função do tempo para o MCVU:



- A "área" destacada entre o gráfico e o eixo dos tempos, entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ , no gráfico da aceleração angular,  $\alpha$ , contra o tempo,  $t$ , fornece a variação da velocidade angular entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

$$A = \Delta\omega$$

- A aceleração angular instantânea,  $\alpha$ , num dado instante,  $t$ , é expressa matematicamente por:

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

- A relação que encontramos para as acelerações média angular e linear também é válida para as acelerações instantâneas, assim:

$$\alpha = \frac{a}{R}$$

## I. EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

### UMA NOVA TERRA

**EP1. (UFPA)** A Terra é considerada um ímã gigantesco, que tem as seguintes características:

a) O polo Norte geográfico está exatamente sobre o polo sul magnético, e o Sul geográfico está na mesma



posição que o norte magnético.

b) O polo Norte geográfico está exatamente sobre o polo norte magnético, e o Sul geográfico está na mesma posição que o sul magnético.

c) O polo norte magnético está próximo do polo Sul geográfico, e o polo sul magnético está próximo do polo Norte geográfico.

d) O polo norte magnético está próximo do polo Norte geográfico, e o polo sul magnético está próximo do polo Sul geográfico.

e) O polo Norte geográfico está defasado de um ângulo de  $45^\circ$  do polo sul magnético, e o polo Sul geográfico está defasado de  $45^\circ$  do polo norte magnético.

**EP2. (PUC-MG)** A figura mostra o nascer do Sol. Dos pontos A, B, C e D, qual deles indica o Sul geográfico?



a) A

b) B

c) C

d) D

**EP3. (UFSC-SC)** A figura representa as linhas de indução do campo magnético terrestre. O magnetismo

terrestre levou à invenção da bússola, instrumento essencial para as grandes navegações e descobrimentos do século XV e, segundo os historiadores, já utilizada pelos chineses desde o século X.

Em 1600, William Gilbert, em sua obra denominada De Magnete, explica que a orientação da agulha magnética se deve ao fato de a Terra se comportar como um imenso ímã, apresentando dois pólos magnéticos.

Muitos são os fenômenos relacionados com o campo magnético terrestre. Atualmente, sabemos que feixes de partículas eletrizadas (elétrons e prótons), provenientes do espaço cósmico, são capturados pelo campo magnético terrestre, ao passarem nas proximidades da Terra, constituindo bom exemplo de movimento de partículas carregadas em um campo magnético.



Assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S):

01. O sentido das linhas de indução, mostradas na figura, indica que o pólo sul magnético está localizado próximo ao pólo norte geográfico.

02. O sentido das linhas de indução, mostradas na figura, indica que o pólo norte magnético está localizado próximo ao pólo norte geográfico.

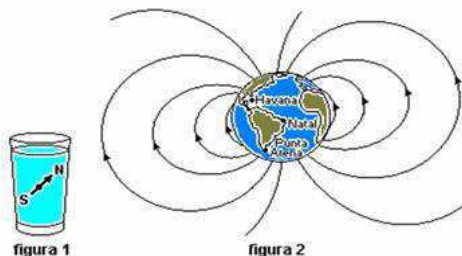
04. As linhas de indução do campo magnético da Terra mostram que ela se comporta como um gigantesco ímã, apresentando dois pólos magnéticos.

08. O pólo norte da agulha de uma bússola aponta sempre para o pólo sul magnético da Terra.

16. O módulo do campo magnético terrestre aumenta, à medida que se afasta da superfície da Terra.

**EP4. (UFRN-RN)** O estudioso Robert Norman publicou em Londres, em 1581, um livro em que discutia experimentos mostrando que a força que o campo magnético terrestre exerce sobre uma agulha imantada não é horizontal.

Essa força tende a alinhar tal agulha às linhas desse campo. Devido a essa propriedade, pode-se construir uma bússola que, além de indicar a direção norte-sul, também indica a inclinação da linha do campo magnético terrestre no local onde a bússola se encontra. Isso é feito, por exemplo, inserindo-se uma agulha imantada num material, de modo que o conjunto tenha a mesma densidade que a água e fique em equilíbrio dentro de um copo cheio de água, como esquematizado na figura 1.



A figura 2 representa a Terra e algumas das linhas do campo magnético terrestre. Foram realizadas observações com a referida bússola em três cidades (I, II e III), indicando que o pólo norte da agulha formava,

**APROXIMADAMENTE,**

- para a cidade I, um ângulo de  $20^\circ$  em relação à horizontal e apontava para baixo;

- para a cidade II, um ângulo de  $75^\circ$  em relação à horizontal e apontava para cima;

- para a cidade III, um ângulo de  $0^\circ$  e permanecia na horizontal.

A partir dessas informações, pode-se concluir que tais observações foram realizadas, **RESPECTIVAMENTE,** nas cidades de

a)Punta Arenas (sul do Chile), Natal (nordeste do Brasil) e Havana (noroeste de Cuba).

b)Punta Arenas (sul do Chile), Havana (noroeste de Cuba) e Natal (nordeste do Brasil).

c)Havana (noroeste de Cuba), Natal (nordeste do Brasil) e Punta Arenas (sul do Chile).

d)Havana (noroeste de Cuba), Punta Arenas (sul do Chile) e Natal (nordeste do Brasil).

**EP5. (UEMG-MG)** O ano de 2009 foi o Ano Internacional da Astronomia. A 400 anos atrás, Galileu apontou um telescópio para o céu, e mudou a nossa maneira de ver o mundo, de ver o universo e de vermos a nós mesmos.



As questões, a seguir, nos colocam diante de constatações e nos lembram que somos, apenas, uma parte de algo muito maior: o cosmo. Um astronauta, ao levar uma bússola para a Lua, verifica que a agulha magnética da bússola não se orienta numa direção preferencial, como ocorre na Terra.



Considere as seguintes afirmações, a partir dessa observação:

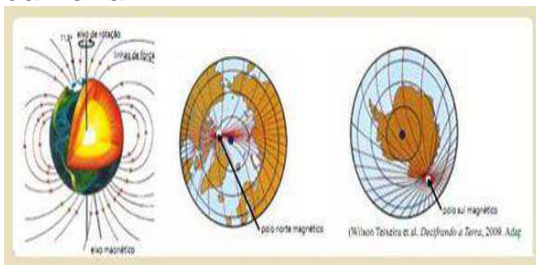
1. A agulha magnética da bússola não cria campo magnético, quando está na Lua.

2. A Lua não apresenta um campo magnético.

Sobre tais afirmações, marque a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a afirmação 1 é correta.
- b) Apenas a afirmação 2 é correta.
- c) As duas afirmações são corretas.
- d) As duas afirmações são falsas.

**EP6. (UNESP-SP)** A Terra comporta-se como um imenso ímã, ou seja, tem magnetismo próprio. Observe as figuras, que são representações do campo magnético da Terra.



A partir da observação das figuras e de seus conhecimentos, pode-se afirmar que:

(A) se buscamos as coordenadas geográficas do polo norte magnético para atingir o polo geográfico, o provável é que não cheguemos lá, porque a localização dos polos magnéticos da Terra não coincide com a dos polos geográficos.

(B) o polo norte magnético encontra-se na costa norte do Alasca e o polo sul magnético na costa oeste da Antártida.

(C) se buscarmos as coordenadas geográficas do polo sul magnético para atingir o polo sul geográfico, o provável é que alcancemos nosso intento, porque a localização dos polos magnéticos da Terra coincide com a dos polos geográficos.

(D) o polo norte magnético encontra-se na Groenlândia, na América do Norte, e o polo sul geográfico na costa norte da Antártida.

(E) o polo norte magnético encontra-se na costa norte do Canadá, no oceano Atlântico, portanto, junto à localização do polo norte geográfico.

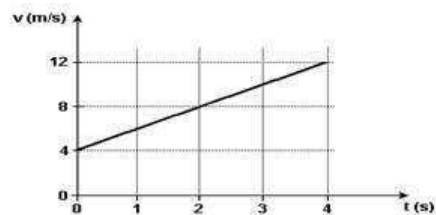
## MOVIMENTO

### UNIFORMEMENTE VARIADO

**EP7.** Um carro parte do repouso com uma aceleração constante de  $4,0 \text{ m/s}^2$ . Em quanto tempo ele atingirá a velocidade de  $144 \text{ km/h}$ ?

**EP8.** A função horária da velocidade de uma partícula, em unidades SI, é  $v = 10 + 2t$ . Sabendo que a posição inicial da partícula é  $x_0 = 5 \text{ m}$ , determine o seu espaço no instante  $t = 4\text{s}$ .

**EP9. (UFPE)** O gráfico da velocidade em função do tempo de um ciclista, que se move ao longo de uma pista retilínea, é mostrado a seguir.



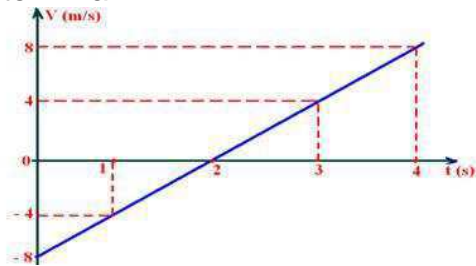
Considerando que ele mantém a mesma aceleração entre os instantes  $t = 0$  e  $t = 7$  segundos, determine a distância percorrida neste intervalo de tempo. Expresse sua resposta em metros.

**EP10. (UFB)** Um gato realiza um MUV em trajetória retilínea e horizontal que obedece à função horária da velocidade  $V = -20 + 5t$  em unidades do SI. Pede-se:

- a) a velocidade inicial e a aceleração
- b) o instante em que ele muda o sentido de seu movimento
- c) classificar o movimento em progressivo ou retrógrado, acelerado ou retardado, orientando a trajetória para a direita.

Qual o tipo de movimento do gato nos instantes  $2\text{s}$  e  $10\text{s}$

**E11. (UFB)** No gráfico abaixo, da velocidade de um móvel em MUV em função do tempo, pede-se determinar:

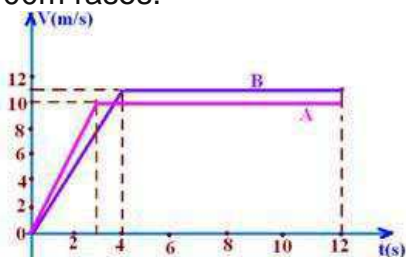


- a) a velocidade inicial  $V_0$  e a aceleração a
- b) o instante em que o móvel inverte o sentido de seu movimento
- c) classificar o movimento
- d) o deslocamento sofrido no intervalo de tempo compreendido entre 0 e 4s

**EP12. (UFRS-RS)** Um automóvel que trafega com velocidade constante de 10 m/s, em uma pista reta e horizontal, passa a acelerar uniformemente à razão de 60 m/s em cada minuto, mantendo essa aceleração durante meio minuto. A velocidade instantânea do automóvel, ao final desse intervalo de tempo, e sua velocidade média, no mesmo intervalo de tempo, são, respectivamente:

- a) 30 m/s e 15 m/s.
- b) 30 m/s e 20 m/s.
- c) 20 m/s e 15 m/s.
- d) 40 m/s e 20 m/s.
- e) 40 m/s e 25 m/s.

**EP13. (FUVEST-SP)** Na figura a seguir estão representadas as velocidades, em função do tempo, desenvolvidas por um atleta, em dois treinos A e B, para uma corrida de 100m rasos.



Com relação aos tempos gastos pelo atleta para percorrer os 100m, podemos afirmar que, aproximadamente:

- a) no B levou 0,4s a menos que no A
- a) no A levou 0,4s a menos que no B
- c) a) no B levou 1,0s a menos que no A
- d) no A levou 0,4s a menos que no B
- e) no A e no B levou o mesmo tempo

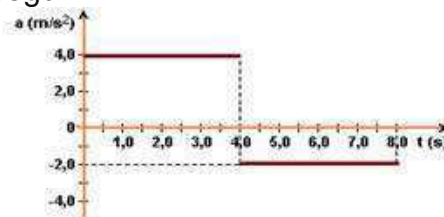
**EP14. (MACKENZIE-SP)** A aceleração de um móvel, que parte do repouso, varia com o tempo de acordo com o gráfico abaixo.



O instante, contado a partir do início do movimento, no qual o móvel pára, é:

- a) 5 s
- b) 6 s
- c) 8 s
- d) 13 s
- e) 18 s

**EP15. (Ufpe)** Uma partícula, que se move em linha reta, está sujeita à aceleração  $a(t)$ , cuja variação com o tempo é mostrada no gráfico a seguir.



Sabendo-se que no instante  $t = 0$  a partícula está em repouso, calcule a sua velocidade no instante  $t = 8,0$  s, em m/s.

**EP16. (Olimpíada Brasileira de Física)** Uma partícula executa um movimento retilíneo uniformemente variado. Num dado instante a partícula tem velocidade 50m/s e aceleração negativa de módulo  $0,2\text{m/s}^2$ . Quanto tempo decorre até a

partícula alcançar a mesma velocidade em sentido contrário?

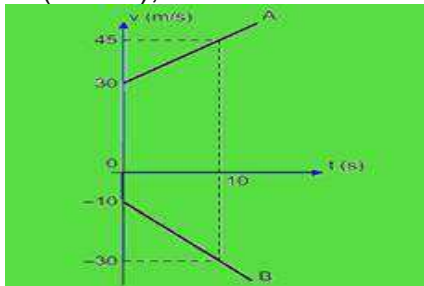
- a) 500 s   b) 250 s   c) 125 s   d) 100 s   e) 10 s

**EP17. (CFT-MG)** O movimento retilíneo de um corpo é descrito pela equação  $v = 10 - 2t$  em que  $v$  é a velocidade, em m/s, e  $t$  é o tempo, em segundos.

Durante os primeiros 5,0 s, a distância percorrida por ele, em metros, é:

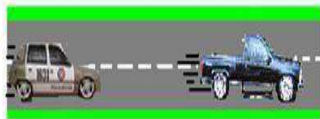
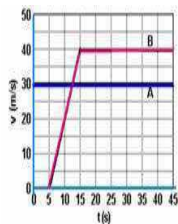
- a) 10.                      b) 15.                      c) 20.  
d) 25.

**EP18. (MACKENZIE-SP)** Dois automóveis A e B se movimentam sobre uma mesma trajetória retilínea, com suas velocidades variando com o tempo de acordo com o gráfico a seguir. Sabe-se que esses móveis se encontram no instante 10 s. A distância entre eles, no instante inicial ( $t = 0$  s), era de



- a) 575 m   b) 425 m   c) 375 m   d) 275 m   e) 200 m

**EP19. (UNESP-SP)** Um veículo A passa por um posto policial a uma velocidade constante acima do permitido no local. Pouco tempo depois, um policial em um veículo B parte em perseguição do veículo A. Os movimentos dos veículos são descritos nos gráficos da figura.



Tomando o posto policial como referência para estabelecer as

posições dos veículos e utilizando as informações do gráfico, calcule:

- a) a distância que separa o veículo B de A no instante  $t = 15,0$  s.  
b) o instante em que o veículo B alcança A.

**EP20.** A função horária da posição de um móvel é dada por  $x = 20 - 10t + 5t^2$  (S.I.). Determine a posição inicial, a velocidade inicial e a aceleração do movimento.

**EP21.(USF)** Um ponto material tem movimento regido pela função horária:

$$s = 5 + 2t - 2t^2 \text{ (S.I.)}$$

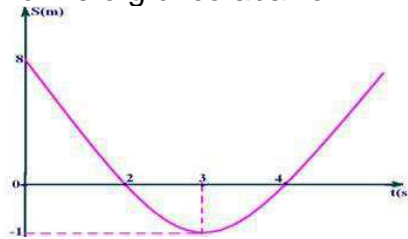
A sua velocidade no instante  $t = 2$  s é de:

- a) -2 m/s   b) 0   c) 10 m/s   d) 6 m/s   e) -6 m/s

**EP22.** Um móvel parte do repouso, com aceleração constante, de maneira que após passados 4 s já percorreu 32 m. Sabendo disso, determine:

- a) a aceleração do móvel;  
b) a velocidade escalar do móvel ao fim de 6 s.

**EP23. (UFB)** O espaço (posição) de um móvel varia com o tempo conforme o gráfico abaixo.



Pede-se determinar:

- a) O espaço (posição) inicial  $S_0$ , o instante  $t_i$  em que o móvel inverte o sentido de seu movimento e o(s) instante(s) em que passa pela origem dos espaços (posições, marco zero).  
b) O intervalo de tempo em que o movimento é progressivo e o intervalo de tempo em que o movimento é retrógrado.

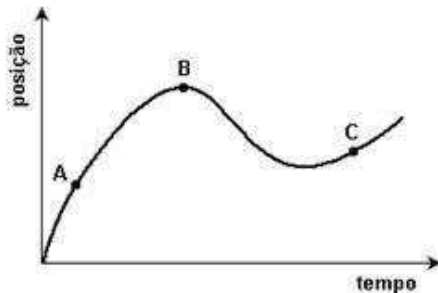
c) O intervalo de tempo em que o movimento é acelerado e em que é retardado.

d) A função horária do espaço

e) A função horária da velocidade e sua representação gráfica

f) A função oraria da aceleração e sua representação gráfica.

**EP24. (UFMG-MG)** Um carro está andando ao longo de uma estrada reta e plana. Sua posição em função do tempo está representada neste gráfico:



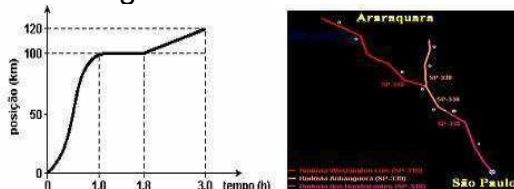
Sejam  $v_A$ ,  $v_B$  e  $v_C$  os módulos das velocidades do carro, respectivamente, nos pontos A, B e C, indicados nesse gráfico.

Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que

- a)  $v_A < v_B < v_C$ .
- b)  $v_B < v_C < v_A$ .
- c)  $v_A < v_C < v_B$ .
- d)  $v_B < v_A < v_C$ .

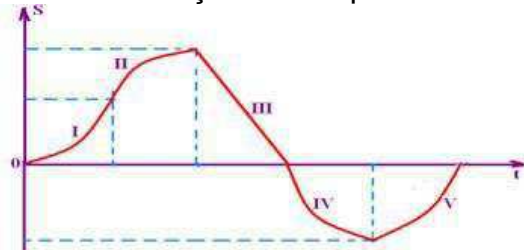
**EP25. (UFRJ-RJ)** A posição de um automóvel em viagem entre duas cidades foi registrada em função do tempo.

O gráfico a seguir resume as observações realizadas do início ao fim da viagem.



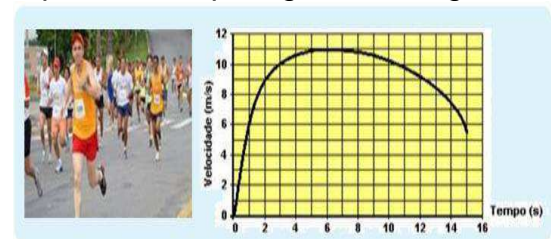
- a) Indique durante quanto tempo o carro permaneceu parado.
- b) Calcule a velocidade escalar média do carro nessa viagem.

**EP26. (UFB)** O gráfico abaixo mostra a variação do espaço de um móvel em função do tempo.



Classifique o movimento em cada trecho

**EP27. (ENEM)** Em uma prova de 100 m rasos, o desempenho típico de um corredor padrão é representado pelo gráfico a seguir:



Em que intervalo de tempo o corredor apresenta ACELERAÇÃO máxima?

- a) Entre 0 e 1 segundo.
- b) Entre 1 e 5 segundos.
- c) Entre 5 e 8 segundos.
- d) Entre 8 e 11 segundos.
- e) Entre 9 e 15 segundos.

**EP28.** A velocidade de um carro é reduzida de 40 m/s para 10 m/s, com uma aceleração de módulo  $2,0 \text{ m/s}^2$ . Qual a distância percorrida pelo carro durante a desaceleração?

**EP28.** Enquanto uma partícula percorre 10 m, sua velocidade escalar varia de 20 m/s a 30 m/s. Qual a aceleração, suposta constante, dessa partícula?

**EP29. (Fuvest-SP)** A velocidade máxima permitida em um automóvel é de 110 km/h (aproximadamente 30 m/s) e um carro, nessa velocidade, leva 6 s para parar completamente. Diante de um posto rodoviário, os veículos devem trafegar no máximo a 36 km/h (10 m/s).

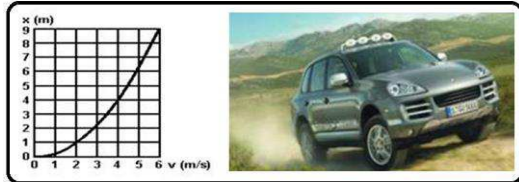
Assim, para que os carros em velocidade máxima consigam



obedecer ao limite permitido ao passar em frente do posto, a placa referente à redução de velocidade deverá ser colocada antes do posto a uma distância de, pelo menos:

- a) 44 m b) 60 m c) 80 m d) 90 m e) 100 m

**EP30. (UNIFESP-SP)**



Em um teste, um automóvel é colocado em movimento retilíneo uniformemente acelerado a partir do repouso até atingir a velocidade máxima. Um técnico constrói o gráfico onde se registra a posição  $x$  do veículo em função de sua velocidade  $v$ . Através desse gráfico, pode-se afirmar que a aceleração do veículo é

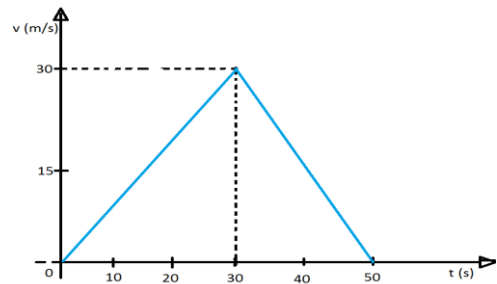
- a)  $1,5 \text{ m/s}^2$       b)  $2,0 \text{ m/s}^2$   
 c)  $2,5 \text{ m/s}^2$     d)  $3,0 \text{ m/s}^2$       e)  $3,5 \text{ m/s}^2$

**EP31. (UFPI)** A distância percorrida por um automóvel que viaja a  $40 \text{ km/h}$ , após a ação dos freios, até que pare, é de  $8 \text{ m}$ , admitindo-se constante sua aceleração devido à freada.

Com a velocidade do automóvel igual a  $80 \text{ km/h}$ , e supondo as mesmas condições anteriores, o espaço percorrido pelo automóvel após a freada será de:

- a)  $8 \text{ m}$     b)  $16 \text{ m}$     c)  $24 \text{ m}$     d)  $32 \text{ m}$   
 e)  $40 \text{ m}$

**EP32. (VUNESP-SP)** A figura representa o gráfico velocidade  $x$  tempo do movimento retilíneo de um móvel.



a) Qual o deslocamento total desse móvel?

b) Esboce o gráfico posição  $x$  tempo correspondente. Supondo que o móvel partiu da origem dos espaços.

**EP33. (Olimpíada Brasileira de Física)**

Dois carros movem-se no mesmo sentido em uma estrada retilínea com velocidades  $v_A = 108 \text{ km/h}$  e  $v_B = 72 \text{ km/h}$  respectivamente. Quando a frente do carro **A** está a uma distância de  $10 \text{ m}$  da traseira do carro **B**, o motorista do Carro **A** freia, causando uma desaceleração  $a = 5 \text{ m/s}^2$ .

a) Calcule a distância percorrida pelo carro **A** até que ele colida com o carro **B**.

b) Repita o cálculo do item anterior, mas agora supondo que a velocidade inicial do carro **A** seja  $90 \text{ km/h}$ . Interprete seu resultado.

**MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE VARIADO**

**EP34.** Determine as velocidades angular e de um ponto situado na periferia de um disco, com raio de  $10 \text{ cm}$ , girando a partir do repouso com uma aceleração angular constante de  $2,0 \text{ rad/s}^2$ .

**EP35.** Uma partícula em movimento circular tem sua frequência reduzida uniformemente de  $1800 \text{ rpm}$  para  $600 \text{ rpm}$  em  $10 \text{ s}$ . Qual é a aceleração angular dessa partícula e quantas voltas foram realizadas nesses  $10 \text{ s}$ ?

## II. SUGESTÕES PARA FAZER, LER, VISITAR OU ASSISTIR...

### Atividades práticas

- Observar e comparar o movimento diurno do Sol, da Lua e das estrelas fixas.
- Medir o dia sideral.
- Determinar os pontos cardeais com um gnômom e com uma bússola.
- Fotografar estrelas circumpolares.

### Revistas

- Astronomy – <http://astronomy.com/>
- Scientific American Brasil – <http://www2.uol.com.br/scia>
- Ciência Hoje – <http://cienciahoje.uol.com.br/>

### Sítios

- Agência Espacial Brasileira – <http://www.aeb.gov.br/>
- Observatório Nacional – <http://www.on.br/>
- Planetários – <http://www.planetarios.org.br/>
- Inpe – <http://www.inpe.br/>
- Nasa – <http://www.nasa.gov/>
- OBA – <http://www.oba.org.br/>
- Biblioteca Virtual de Astronomia – <http://www.prossiga.br/astronomia/>

### Filmes

- 2001: Uma Odisséia no Espaço;
- O Céu de Outubro
- Impacto Profundo
- Da Terra à Lua
- Cosmos (Carl Sagan)

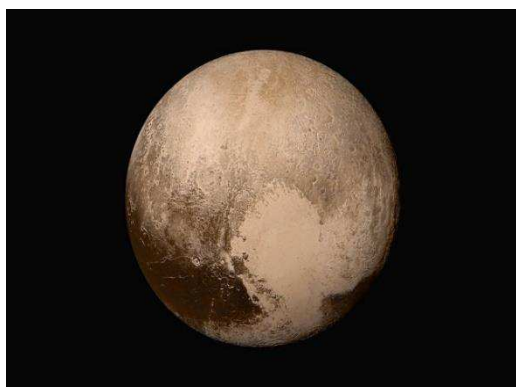
- Cosmos (Neil deGrasse Tyson)
- Os Eleitos
- 1492 – A Conquista do Paraíso
- A volta ao Mundo em 80 Dias
- A Máquina do Tempo
- APOLLO 13
- O Planeta Vermelho
- O Núcleo – Missão ao Centro da Terra (2003)
- Guerra dos Mundos (1952)
- Guerra dos Mundos (2005)
- Prometheus
- Interestelar
- Perdido em Marte

# Capítulo 5: Missões Espaciais

## I. INTRODUÇÃO

As sondas espaciais são as pioneiras da espécie humana na exploração do espaço, muito já falamos das *Voyager* mas estas não foram as primeiras a desbravar o sistema solar e, nem tão pouco, serão as últimas. De início, as primeiras sondas a visitar os gigantes gasosos, Júpiter e Saturno, não foram as *Voyager* e sim as sondas *Pioneer*. Enquanto as viagens tripuladas permanecerem caras e longas de mais, as sondas continuarão sendo o “carro chefe” na exploração do espaço; devido à sua importância no passado, no presente e num futuro próximo nos dedicamos agora a mostrar um breve histórico das missões espaciais com sondas.

Desde da década de 70 inúmeras missões espaciais com sondas foram lançadas estudando todos os planetas do sistema solar, seus satélites e anéis. Dentre essas missões pode-se destacar a Mars Science Laboratory (MSL) que posou em Marte em 6 de agosto de 2012, levando o rover *Curiosity*, com a finalidade de investigar sua habitabilidade planetária e coletar dados para o envio de uma futura missão tripulada a este planeta, também para Marte, enviada em agosto de 2005, a Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) a procura de locais de aterrissagem para futuras sondas espaciais, a sonda *Messenger*



Plutão, imagem da sonda *New Horizons*. (Fonte: Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

que mapeou a superfície do planeta Mercúrio, a *Cassini-Huygens* enviada ao planeta Saturno e seu sistema planetário em 15 de outubro de 1997, entrando em sua órbita em 1 de julho de 2004 e que continua em operação, estudando o planeta, seus satélites naturais, a heliosfera e testando a Teoria da Relatividade, a *Venus Express* primeira missão da Agência Espacial Europeia (ESA) ao planeta Vênus com o objetivo de compreender a estrutura da atmosfera venusiana e as mudanças

que a fizeram evoluir para o intenso efeito estufa da atualidade, a sonda *Juno* lançada em 5 de agosto de 2011 rumo à Júpiter, para estudar em detalhes sua composição, campos gravitacionais e magnéticos, magnetosfera, o interior do planeta, sua formação, e ventos, a sonda *Rosetta* desenvolvida pela Agência Espacial Europeia (ESA) com a missão de encontrar-se no espaço e estudar o cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, e mais recentemente, em 14 de julho de 2015, a sonda *New Horizons* que sobrevoou o planeta-anão Plutão depois de quase uma década de viagem interplanetária, que dentre outras descobertas constatou que Plutão é um pouco maior do que se pensava, com cadeias montanhosas e vastas planícies geladas, vapores na atmosfera e sinais de movimento de nitrogênio e metano congelados em sua superfície. Com as recentes descobertas, é possível sugerir que Plutão tenha um núcleo mais denso envolto por uma espessa camada de gelo aumentando a possibilidade da existência de um oceano líquido sob o gelo, ou seja, “redescobrimo” Plutão.

## II. ALGUNS FATORES QUE CONTRIBUÍRAM PARA O AVANÇO NA EXPLORAÇÃO ESPACIAL

### Foguetes

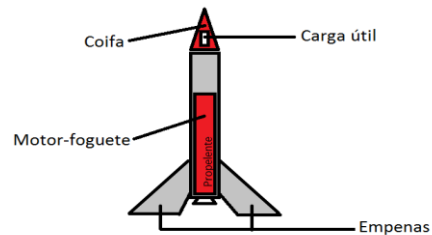
Para que se coloque um homem ou um satélite em órbita, ou mesmo para que uma sonda chegue ao espaço e possa iniciar sua jornada rumo ao conhecimento é necessário o uso de um foguete, logo, sem foguetes não teríamos exploração espacial.

Um foguete é um veículo que se desloca expelindo gases a altas velocidades e que, por conservação do momento linear (quantidade de movimento), se desloca em sentido contrário. Quanto ao tipo, os foguetes podem ser classificados em foguetes de sondagem e veículos lançadores de satélites (VLS); quanto ao propelente, em foguetes de combustível sólido, líquido ou híbrido; quanto ao número de estágios, em mono-estágio, bi e multi-estágios e, ainda, quanto à sua aplicação em tripulados e não-tripulados.

Os foguetes de sondagem, voam até atingir o apogeu (altura máxima) momento no qual sua carga útil experimenta um ambiente de microgravidade (ausência de peso) e, em seguida, retornam à Terra. As principais etapas do voo de um foguete de sondagem são: lançamento, voo propulsado, voo não-propulsado, apogeu, voo fora da atmosfera, voo descendente e recuperação.

Nos veículos lançadores de satélites (VLS), há energia suficiente para que sua carga útil, um satélite por exemplo, atinja a velocidade de 28 000 km/h paralela à Terra e permaneça em órbita. O Brasil iniciou o desenvolvimento de seu próprio

veículo lançador de satélites, o VLS 1, que teve seu primeiro voo teste em 2 de novembro de 1997, um segundo voo aconteceu em 11 de dezembro de 1999 e, tragicamente, na terceira tentativa em 2003 o



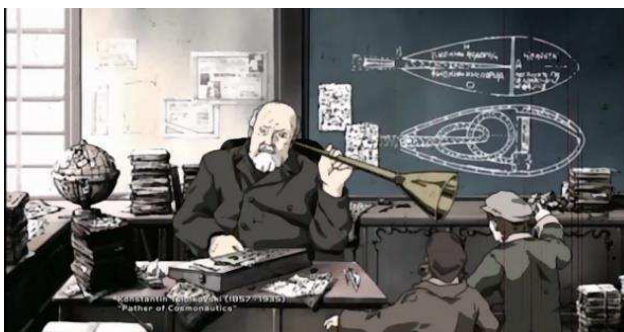
Esquema de um foguete com seus principais componentes.



Plataforma de lançamento após acidente de Alcântara. (Fonte: [www.wikipedia.org/](http://www.wikipedia.org/))

acionamento prematuro de um dos motores do primeiro estágio provocou a morte de 21 técnicos do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), paralisando por muitos anos o projeto.

Pode-se dizer que o início do estudo científico dos foguetes aconteceu com o russo **Konstantin Tsiolkovsky** (1857-1935); autodidata, com facilidade para o estudo de física e



Tsiolkovsky, que ficou praticamente surdo após uma crise de escarlatina na infância. (Fonte: [www.famoushomeschoolers.net](http://www.famoushomeschoolers.net))

química, desde cedo, dedicou-se ao estudo da aeronáutica. Tsiolkovsky estava à frente de seu tempo basta mencionar que tecnologias utilizadas nos modernos foguetes de hoje já, no início do século passado, foram propostas por ele como o uso de hidrogênio e oxigênio líquidos como combustíveis de foguete. Suas contribuições teóricas foram inúmeras, no entanto a tecnologia da época não permitiu suas implementações.

Foi com **Robert Hutchin Goddard** (1882-1945), que as ideias de Tsiolkovsky puderam ser comprovadas. Goddard influenciado pela literatura de ficção científica e pelas mais recentes observações de Marte da época decidiu trabalhar com foguetes. Em seu mais importante trabalho intitulado “Um método para atingir altitudes extremas”, publicado em 1919, revela suas pesquisas com combustíveis sólidos e líquidos, equações matemáticas obedecidas por foguetes em vôo e defende o uso de foguetes para viagens espaciais. Seu primeiro foguete de combustível líquido foi lançado em 16 de março de 1926, com resultados não muito animadores.

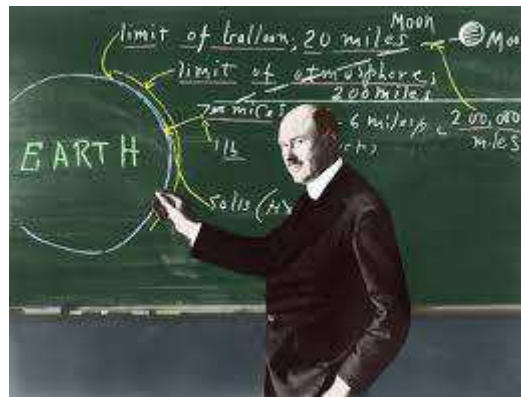


Imagem colorida de Goddard em 1924. (Fonte: Nasa. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/))

Bem, Tsiolkovsky iniciou o desenvolvimento da teoria de foguetes e Goddard pois a “mão na massa”, começando os experimentos com protótipos, no entanto, foi o **alemão Wernher Magnus Maximilian von Braun** (1912-1977) quem desenvolveu um foguete propriamente dito.

Desde de muito jovem von Braun mostrou interesse por foguetes entrando na “Sociedade para Vôo Espacial” e realizando experimentos com propulsão líquida. Com a ascensão do nazismo na Alemanha, foi obrigado a seguir a carreira militar para poder continuar seus experimentos com foguetes e, durante a 2ª Guerra Mundial desenvolveu o V-2, arma secreta da Alemanha que acreditava-se mudaria o rumo da Guerra; o que, só não aconteceu, por ter aparecido tarde demais. É importante ressaltar que, apesar de inútil para levar à vitória da Alemanha nazista, causou inúmeras mortes.



Estragos causados por um foguete V-2 na Inglaterra durante a 2ª Guerra Mundial. (Fonte: [defencyclopedia.com/](http://defencyclopedia.com/))

Após a guerra, von Braun e outros cientistas da Alemanha derrotada, foram levados à América junto com seus conhecimentos sobre a tecnologia de foguetes. No entanto, não só os americanos tiveram acesso a essa tecnologia, os soviéticos também pegaram sua parcela de cientistas alemães para ajudá-los na construção de seus próprios foguetes.

Na União Soviética, aparece como responsável pelo desenvolvimento de foguetes, **Sergei Pavlovich Korolev** (1907-1966) ucraniano que inicialmente

trabalhou com projetos de aviação, dedicando-se mais tarde à construção de foguetes; seu primeiro foguete foi lançado em 1933. Korolev só teve seu trabalho valorizado após a percepção, por parte das lideranças comunistas, do grande potencial bélico do uso de foguetes; neste momento foi libertado da prisão num campo de trabalhos forçados (gulag) na Sibéria. Sob a supervisão de Korolev os Soviéticos assumiram a ponta na tecnologia de foguetes.

Seu primeiro foguete após a libertação, o R-1, era tão bom quanto o V2 de von Braun mas foi com o R7 que Korolev entrou para a história da humanidade. Em 4 de outubro de 1957, um foguete idêntico ao R-7 foi utilizado para lançar o Sputnik 1 dando início a era espacial.



Lançamento de foguete R7 e sua réplica. (Fonte: <http://www.space.mict.go.th/>)

---

### A corrida espacial

---

Terminada a 2ª Guerra Mundial, a Europa estava arrasada e cerca de 50 milhões de pessoas haviam perdido suas vidas, no entanto havia “vencedores” - americanos e soviéticos – e não podiam existir dois vencedores mais antagônicos. Do ocidente, os americanos capitalistas e, do oriente, os soviéticos comunistas. Apesar das grandes perdas obtidas para chegar à vitória, principalmente do lado soviético (com mais de 20 milhões de mortos), os dois lados não procuram por paz e união entre as nações como forma de evitar que tal tragédia se repetisse. Pelo contrário, dividiram o mundo ao iniciarem uma disputa sobre qual potência oferecia ao mundo melhor sistema político-econômico. Essa disputa/conflito entre as duas superpotências que emergiram da 2ª Guerra Mundial recebeu o nome de Guerra Fria.

As disputas sobre quem era o “melhor” aconteciam em várias áreas, economia, esporte e tecnologia. O avanço tecnológico se mostrou um dos

principais cenários onde se desenrolou essa disputa e dentro dele a corrida espacial, afinal, que propaganda seria melhor, para uma grande nação, que a conquista do espaço.

Pode-se dizer que a corrida espacial começou no final da década de 1950 quando Sergei Korolev, aproveitando a deixa dada pelos americanos ao anunciarem a possibilidade de lançarem um satélite artificial, resolveu utilizar seu foguete

R-7, originalmente projetado como míssil balístico, para lançar um satélite artificial primeiro que os americanos. O foguete serviria perfeitamente bastando

**EM 1938, KOROLEV FOI ACUSADO DE SABOTAGEM ECONÔMICA PELO REGIME STALINISTA E LEVADO A UM GULAG. NESTE PERÍODO, DEVIDO ÀS CONDIÇÕES DESUMANAS DO CAMPO DE TRABALHOS FORÇADOS PERDEU SEUS DENTES E SUA**

que, ao invés de carregá-lo com uma bomba e apontá-lo para os Estados Unidos da América, o carregasse com um satélite e apontasse para o espaço. E foi isso que aconteceu no dia 4 de outubro de 1957, um satélite artificial foi posto, pela primeira vez, em órbita do nosso planeta.



Sputnik. Fonte: [www.history.com/](http://www.history.com/)

Os soviéticos imediatamente a preparação de um novo lançamento. O Sputnik 2 foi lançado, então, menos de um mês depois e desta vez transportando a cachorrinha Laika – o primeiro animal a deixar a Terra.

APRESSADOS EM ALCANÇAR  
MAIS UM TRIUNFO SOBRE OS  
AMERICANOS, OS  
SOVIÉTICOS LANÇARAM A  
CACHORRINHA LAIKA AO  
ESPAÇO SEM DESENVOLVER  
UMA FORMA DE TRAZÊ-LA  
DE VOLTA. LAIKA FOI

O satélite recebeu o nome de Sputnik 1 e consistia de uma esfera de meio metro de diâmetro, com cerca de 80 kg, com quatro antenas de rádio e que transmitia sinais na forma de bipes para a Terra.

A notícia do lançamento foi sensação nos Estados Unidos, ocupando a primeira página de importantes jornais, o que levou os americanos a fazer algo rápido, e fizeram, em 6 de dezembro de 1957 lançaram um foguete que colocaria um minúsculo satélite em órbita, no entanto, o foguete explodiu logo após o lançamento. Os americanos só obtiveram êxito em colocar um satélite em órbita em 31 de janeiro de 1958 - o satélite era o Explorer 1.

Mesmo com o sucesso do lançamento do Explorer 1 os americanos ainda estavam muito atrás na corrida espacial e os soviéticos sabendo disso queriam aumentar a dianteira e deram início a um programa tripulado. Nesse novo projeto, os soviéticos obtiveram outro grande sucesso. Em 12 de abril de 1961, Yuri Gagarin torna-se o primeiro homem a chegar ao espaço.

Gagarin ficou no espaço por quase duas horas, período em que pôde observar a beleza de nosso planeta visto de fora. Apesar de sua importância simbólica lá em cima no espaço, Gagarin desempenhou pequeno papel prático na missão, já que a Vostok 1, a nave que o levou ao espaço, era totalmente automatizada. Um pouco de emoção ficou para seu retorno, pois apesar da tecnologia necessária para uma reentrada na atmosfera já existir, em termos de aterrissagem com segurança, não era, ainda, possível o pouso seguro e Gagarin teve de ser ejetado da cápsula a poucos quilômetros do chão.

Os americanos tinham que fazer algo ou não alcançariam mais os soviéticos. Para chegar a dianteira os americanos precisavam de algo ousado e não se podia imaginar nada mais ousado que uma missão tripulada à Lua.



Representação da Vostok1. (Fonte: [www.bisbos.com/](http://www.bisbos.com/))

Deu-se, então, o início de uma nova etapa da corrida espacial – a corrida pela Lua.

O plano dos americanos para chegar à Lua consistia de, em primeiro lugar, colocar um astronauta em órbita, Programa Mercury (1961-1963), depois seguiu-se o Programa Gemini (1965-1966) onde foram realizados o primeiro acoplamento de duas espaçonaves e a primeira atividade extra veicular (EVA, sigla em inglês) de um astronauta americano, **Ed White** (1930-1967). Cabe ressaltar que o primeira “caminhada espacial” foi feita pelos russos através do cosmonauta **Alexei Leonov** (1934-).

Por fim veio o Programa Apollo (1967-1972) que, a partir dos conhecimentos e experiências acumulados com os programas anteriores, bem como, o desenvolvimento do maior e mais potente foguete já construído (Saturno V), tinha o objetivo de levar o homem à Lua.

Na missão, o foguete Saturno V colocaria na órbita terrestre três módulos: um de suporte e manobra que orbitaria a Lua e seria o responsável pelo retorno à Terra, um de habitação para os astronautas na viagem e um que serviria para o pouso na Lua. Tudo correu bem e no dia 20 de julho de 1969 a humanidade conquistou a Lua por meio do astronauta **Neil Armstrong** (1930-2012) que pisou no solo lunar e deixou para a história a frase: “Um pequeno passo para o homem, um salto gigantesco para a humanidade.”

Das 21 horas na superfície da Lua, os astronautas Neil Armstrong e **Edwin Aldrin** (1930-) permaneceram duas horas do lado de fora da nave. Os astronautas deixaram na superfície da Lua um sismógrafo, um refletor de raios laser, uma antena de comunicações, uma câmera de TV e a base do módulo lunar e trouxeram de lá rochas.

Os americanos, com o projeto Apollo, conseguiram, enfim, um triunfo retumbante sobre os soviéticos na corrida espacial, triunfo este que nunca foi batido pelos soviéticos que desde a morte de Korolev só colecionaram fracassos. Somente em setembro de 1970 os soviéticos conseguiram lançar uma missão não tripulada à Lua para colher amostras e retornar à Terra.

Com a vitória americana na corrida pela Lua e a morte de Korolev no lado soviético, a pressa e o esforço na corrida espacial esfriaram tanto de um lado como do outro. Os russos dedicaram-se ao desenvolvimento de estações espaciais e construíram a Mir que permaneceu em órbita de 1986 a 2001 enquanto que os americanos passaram a construção de ônibus espaciais.

Hoje a exploração espacial não se restringe à americanos e russos. Chineses, japoneses, europeus e até a Índia têm projetos de ponta democratizando

um pouco mais a exploração espacial, não temos mais ônibus espaciais e a Nasa depende de “carona” para ir ao espaço e a estação espacial que agora figura lá em cima é a Estação Espacial Internacional (ISS, sigla em inglês) desenvolvida por um consórcio de países do qual o Brasil chegou a fazer parte.



O astronauta brasileiro Marcos César Pontes na ISS. (Fonte: [www.aereo.jor.br/](http://www.aereo.jor.br/))

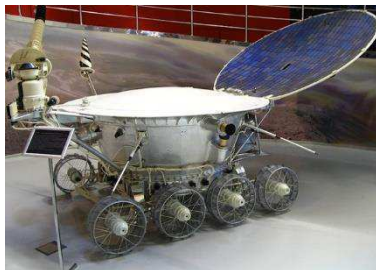




Estação Espacial Internacional, ISS (Fonte:<http://apod.nasa.gov/apod/ap090406.html>)

## Leitura complementar

### A História Ilustrada da Evolução dos Veículos Interplanetários



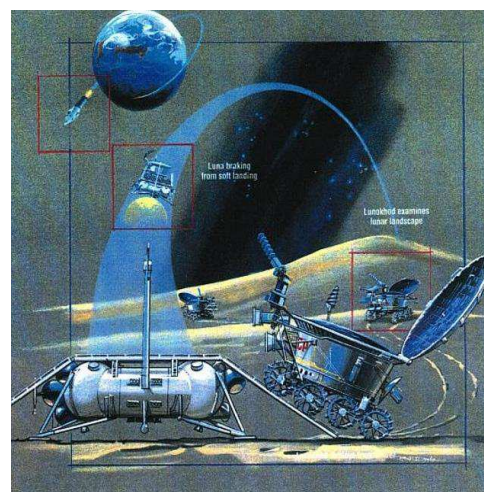
Uma réplica da sonda Lunokhod.  
Crédito: Petar Milošević

Há quase exatos quarenta quatro anos, o veículo interplanetário soviético Lunokhod 1 pousou em Mare Imbrium, popularmente conhecido como o olho direito do rosto que se vê na Lua. Foi o primeiro rover a alcançar com sucesso um mundo extraterrestre, desencadeando uma crescente série de projetos mais complexos com objetivos ainda mais ambiciosos.

Dá uma olhada na história visual dessas aventuras robóticas, desde a viagem inaugural do Lunokhod até as missões conceituais em desenvolvimento atualmente.

Você poderia esperar que o primeiro rover seria uma relíquia aeroespacial, ultrapassada pelas gerações que a sucederam, mas o Lunokhod 1 é tão sofisticado que ainda hoje ele é usado para pesquisas espaciais

Em 2010, a localização exata do veículo perdido há um tempão foi marcada pelo Lunar Reconnaissance Orbiter. Alguns



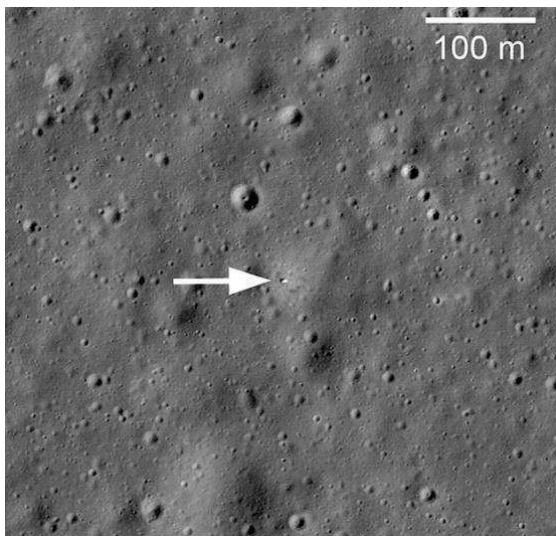
Um infográfico que explica o programa Lunokhod. Crédito: NASA

meses depois, o astrofísico Tom Murphy emitiu um laser em direção ao veículo e descobriu que seu refletor tinha aguentado incrivelmente bem o tempo.

“Nós conseguimos cerca de dois mil fótons do Lunokhod 1 na nossa primeira tentativa”, disse Murphy em um anúncio oficial da NASA sobre a redescoberta do rover. “Depois de 40 anos de silêncio, ela ainda tem muito a nos dizer.”

O Lunokhod 1 está curtindo uma segunda vida ativa como parte integral dos estudos de espectro de laser do doutor Murphy, que basicamente testa os limites da relatividade geral. Mas sua primeira vida foi bem cheia também. Ele pousou suavemente na Lua no dia 17 de novembro de 1970 e desceu as rampas da sua nave mãe, a Luna 17, com moral.

Dali em diante, o veículo ficou os próximos onze anos dando um rolê por



A imagem do Lunokhod feita pelo Lunar Reconnaissance Orbiter. Crédito: NASA

cerca de 10,5 quilômetros na antiga cratera. O Lunokhod 1 fez cerca de 20 mil fotos e conduziu cerca de 500 análises de solo durante esse tempo — um índice impressionante para o primeiro veículo interplanetário do mundo.

Embora a primeira aventura do Lunokhod 1 tenha sido finalizada no dia 4 de outubro de 1971, quando as tentativas de contatar o veículo foram definitivamente abandonadas, ele não foi o último dos Lunokhods. O Lunokhod 2 pousou na cratera Le Monnier no dia 15 de janeiro de 1973

e viajou a enorme distância de 39 quilômetros durante quatro meses, a mais longa caminhada de um veículo lunar até hoje — ainda que o veículo Opportuniy tenha batido esse recorde recentemente em Marte.

Apesar de o Lunokhod nunca ter chegado a base de lançamento, o programa espacial soviético realmente mandou bem na sua primeira incursão com veículos interplanetários. Obviamente, a NASA tinha que aparecer com o primeiro veículo lunar americano. E, bem, eles fizeram o trabalho deles.

### Os veículos lunares da Apollo

É natural que o momento em que se andou sobre a lua tenha sido rapidamente

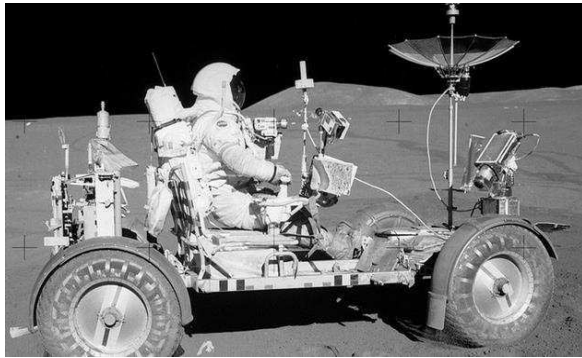
seguido pelo momento em que se dirigiu sobre ela. Esse é o jeitinho americano. No dia 7 de

agosto de 1971 a equipe do Apollo 15 estreou esses veículos lunares mais



Um selo de carta soviético com o Lunokhod 2. Crédito: Andrew Butko

parrudos, os “Buggies da Lua”, na Mare Imbrium — a mesma região onde o Lunokhod 1 estava fazendo explorações. Para ambos, americanos e soviéticos, os veículos interplanetários começaram na mesma cratera.



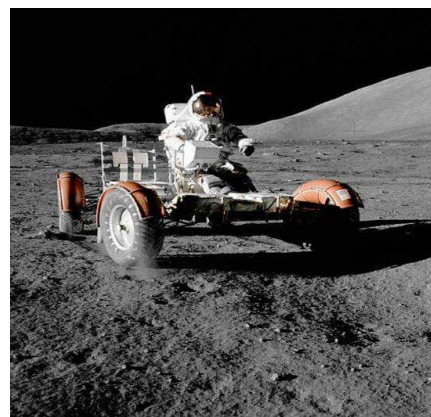
O Apollo 15 LRV. Crédito: NASA

Os "Buggies da Lua" definiram o último estágio do programa Apollo e foram incluídos na lista de credores do Apollo 15, 16 e 17. Eles permitiram que esses três últimos estágio do programa Apollo pudessem explorar uma quantidade muito maior de áreas de pouso enquanto facilitaram o transporte de

equipamento científico e amostras

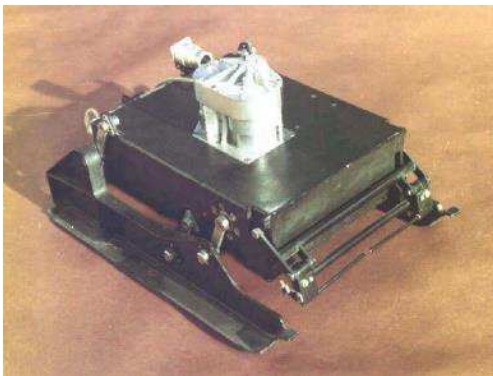
lunares.

Acima de tudo, os veículos lunares eram um sonho futurista. Eles são os únicos veículos planetários tripulados já construídos e nos deram uma previsão evocativa de uma civilização espacial do futuro. Toda história sobre ultrapassar fronteiras precisa de um veículo confiável e os buggies lunares da Apollo cumpriram essa tarefa. Ainda assim, os veículos lunares estavam prestes a pegar carona rumo a um novo alvo: Marte.



Eugene Cernan operando um veículo lunar durante o Apollo 17. Crédito: NASA

## O PROP-M



veículo Prop-M foi equipado com esquis em vez de rodas. Crédito: NASA

Assim como foram os primeiros a pousar um veículo na lua, os soviéticos também foram os primeiros a pousar uma máquina em Marte, mas a série de veículos marcianos Prop-M nem chegou perto de ser tão bem sucedida quanto os veículos Lunokhod. O primeiro veículo do programa, Marte 2, teve uma chegada tensa no planeta no dia 27 de novembro de 1971 depois de os paraquedas do seu módulo terem falhado.

Embora a perda de investimentos tenha sido decepcionante, a batida resultou na chegada do primeiro objeto feito por homens a Marte, sem considerar as condições em que ele chegou. A colisão foi, posteriormente, redimida pela idêntica Marte 3, que realizou o primeiro pouso bem sucedido no dia 2 de dezembro de 1971.

Infelizmente, o rover nunca conseguiu explorar o planeta devido a falha de transmissão devastadora segundos após seu pouso. Isso marcou a última vez que o programa espacial soviético, ou o programa russo que veio a seguir, conseguiu comandar um veículo interplanetário.

## O SOJOURNER

Passariam-se 26 anos até que outro veículo andasse pela superfície de Marte, ainda que inúmeros módulos estacionários tenha alcançado o planeta vermelho nesse meio tempo. Finalmente, em 1996, a NASA lançou a missão Mars Pathfinder, que incluía um modesto veículo chamado Sojourner. O veículo chegou a Marte em 4 de julho de 1997, fazendo dos Estados Unidos o primeiro país a pousar um veículo em outro planeta.

O Sojourner saiu do módulo com câmeras e instrumentos, mas ele não foi pensado para ser um veículo sofisticado. Pesando apenas 11,3 Kg, o Sojourner andou por cerca de cem metros antes de sua comunicação ser interrompida no dia 27 de setembro de 1997.

Os veículos marcianos da NASA que vieram a seguir eram projetos muito mais ambiciosos e acabaram levando o nível para missões interplanetárias com veículos para níveis astronômicos.



Sojourner em Marte. Crédito: NASA

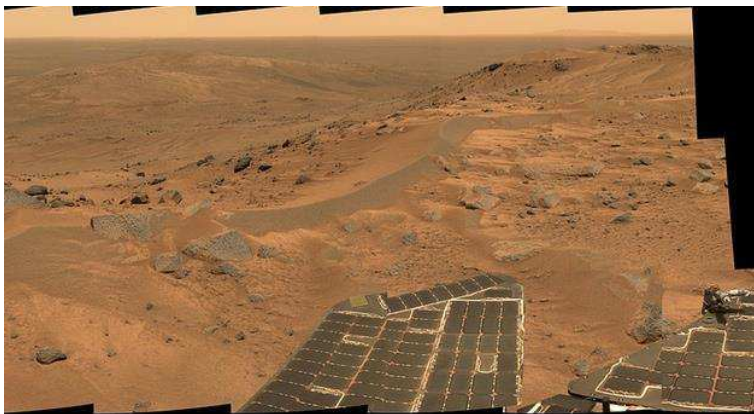


Representação artística de um veículo de exploração em Marte. Crédito: NASA/JPL/Cornell University, Maas Digital

## OS VEÍCULOS DE EXPLORAÇÃO EM MARTE

A missão de Veículos de Exploração em Marte (Mars Exploration Rover Mission - MER) lançou dois veículos ao nosso planeta irmão: MER-A, apelidado de Spirit, que pousou em Marte em 4 de janeiro de 2004, e MER-B, apelidado de Opportunity, que pousou no lado oposto do planeta três semanas depois, no dia 25 de janeiro.

Esses veículos gêmeos estão entre os mais bem sucedidos na categoria



Um panorama marciano feito pela Spirit. Crédito: NASA/JPL-Caltech/Cornell

até o dia 1º de maio de 2009 e como laboratório estacionário até março de 2010, quando o contato com ele foi oficialmente perdido.

A Opportunity, uma década após o pouso, ainda está zanzando pelo Meridiani Planum de Marte. Ela já andou por cerca de 40 km, mais do que qualquer outro veículo interplanetário, e continua a conduzir experimentos e enviar imagens para a Terra — as mais recentes são da passagem de um

espaçonaves uma vez que eles ultrapassaram a duração planejada para suas missões em vários anos. Ambos foram criados para dar um passeio de 92,5 dias, mas o Spirit continuou operacional como laboratório móvel

até o dia 1º de maio de

cometa em céus marcianos. O destaque considerável que a NASA teve com o programa MER explica por que a agência elevou as apostas ainda mais com o próximo veículo, o Curiosity.

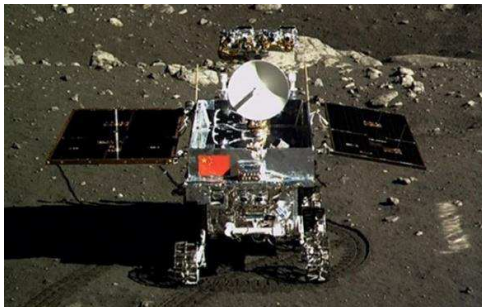
### O Curiosity

O rover Curiosity, casa do Laboratório Científico de Marte, é o mais caro e sofisticado veículo enviado à Marte. Ele parou dentro da cratera Gale no dia 6 de agosto de 2012 depois de uma sequência complicada e ridícula de pouso conhecida como “os sete minutos de terror”. Nos dois anos desde sua chegada, o Curiosity já viajou por cerca de oito quilômetros e fez uma série de grandes descobertas. A mais notável delas a respeito da capacidade do

planeta de suportar vida microbótica durante sua pré-história. Em outubro, ele chegou a seu destino final no Monte Sharp e desde então começou a escalar a montanha .

### O YUTU

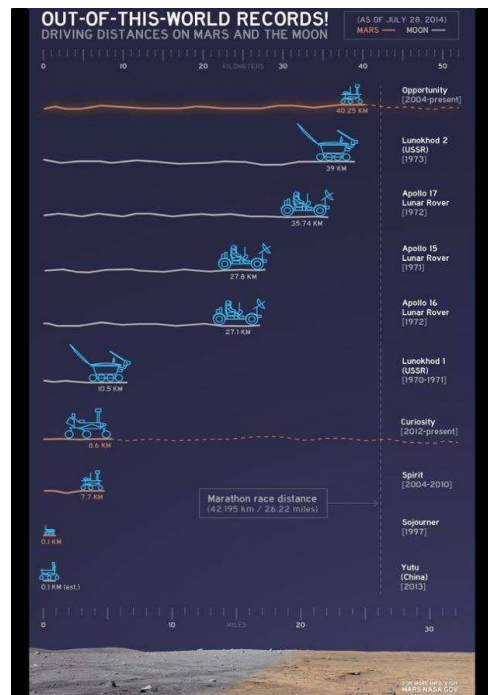
O Yutu, da China, foi despachado na Lua pela espaçonave Chang'e 3 no dia 14 de dezembro de 2013, o que é um feito histórico em alguns níveis. Não só é a primeira missão chinesa com um veículo espacial, como também é o primeiro pouso bem sucedido na Lua que algum país conseguiu desde de a chegada do Lunokhod 2 em 1973.



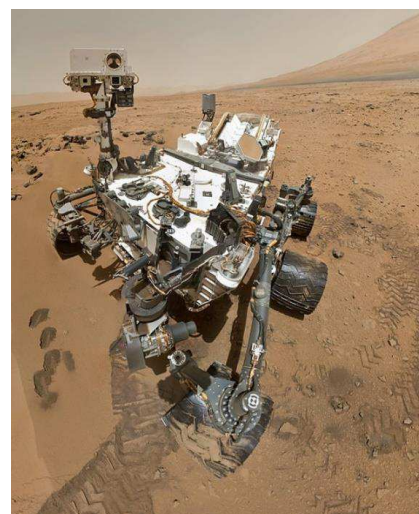
Yutu na Lua. Crédito: Chinese National Space Administration/China Central Television

Apesar dos problemas técnicos que se seguiram e de uma carta póstuma sentimental, o Yutu é uma clara expressão do investimento agressivo da China no seu programa espacial. É também um sinal de que, no futuro, a NASA não será a única no jogo de veículos interplanetários.

A Índia, por exemplo, está desenvolvendo um veículo lunar chamado Chandrayaan-2, que foi projetado para ser lançado em 2017. A Agência Espacial Europeia também está dando duro no ExoMars, um rover com expectativa de pouso em Marte em 2018. Depois dos golaços que essas duas agências fizeram — com a Mission Orbiter Mars (MOM) e a missão Rosetta, respectivamente —, o primeiro chute delas com veículos interplanetários tem sido bem



Distâncias percorridas comparadas em Marte e na Lua. Crédito: NASA/JPL-Caltech



Curiosity posou para uma selfie em Marte. Crédito: NASA/JPL-Caltech

esperado.

Os avanços técnicos extraordinários dos veículos interplanetários durante os últimos 44 anos apontam para um futuro de exploração interplanetária. Certamente, como escrevi em abril desse ano, a próxima geração de veículos



Um protótipo do ExoMars. Crédito: ESA/Jastrow

espaciais terá formas drasticamente diferentes que os padronizados laboratórios sobre rodas que vemos até hoje.

Até que humanos possam fincar os pés em outros planetas, os veículos interplanetários continuarão a ser nossos olhos e ouvidos em planetas distantes do nosso sistema solar e, talvez, além dele. E já que a trajetória deles rumo ao futuro deve ser ao menos tão empolgante quanto a história contada até agora, bem, será uma viagem interessante.

ESCRITO POR BECKY FERREIRA

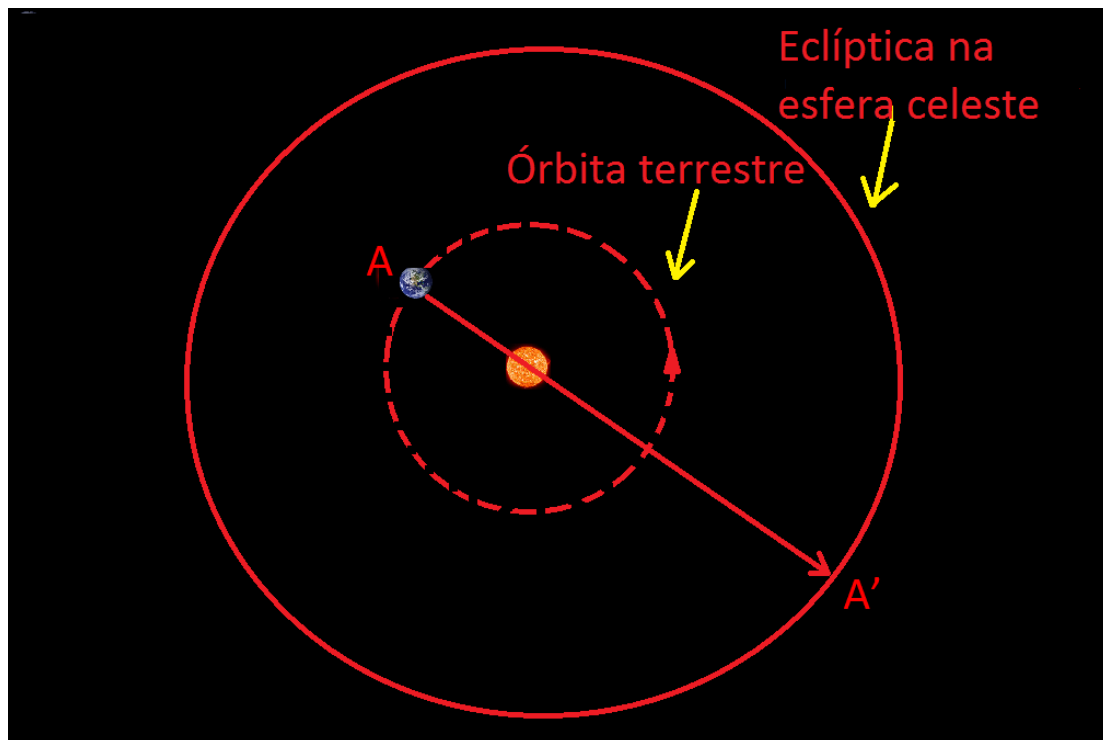
19 November 2014 // 03:00 PM CET

## Você, astrônomo!

### Sol – Movimento aparente.

A nossa estrela, o Sol, que, ao contrário das outras estrelas, só podemos ver durante o dia é o grande personagem do nosso sistema solar, não só pelo seu imenso tamanho correspondendo a quase 99,9% de toda a massa do sistema solar, mas também por nos fornece a claridade do dia, o aquecimento adequado e a vida na Terra.

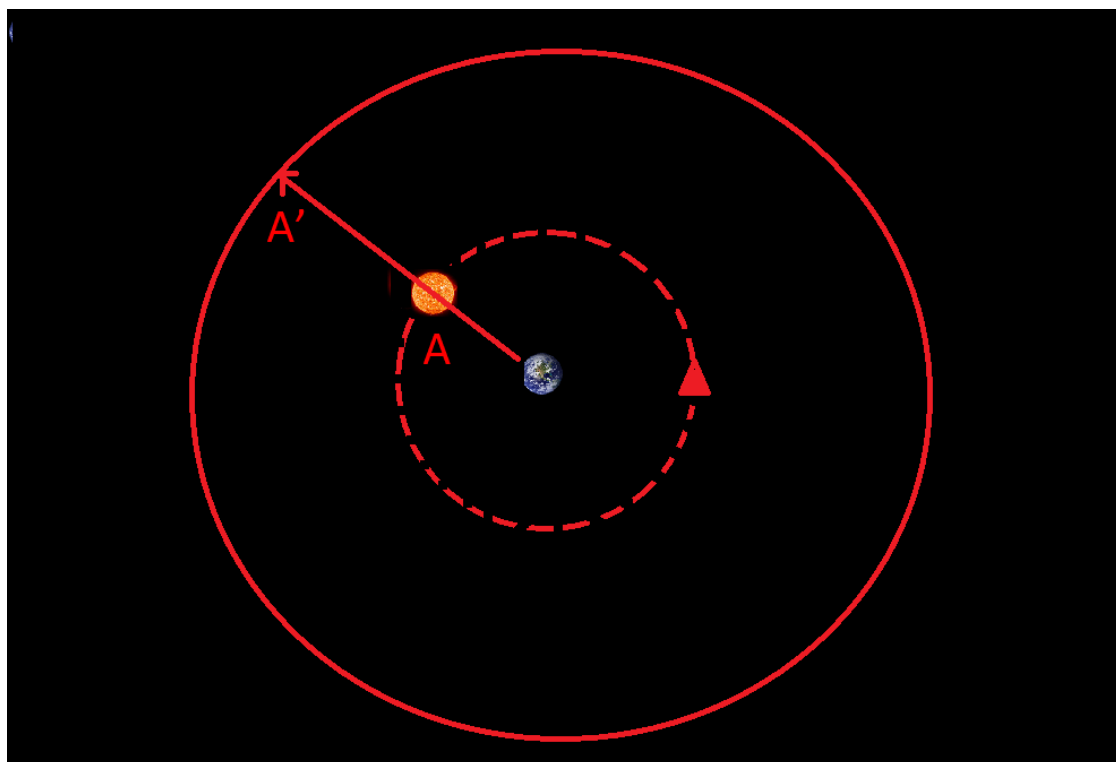
O Sol é uma estrela, mas ao contrário das outras estrelas na esfera celeste não é uma estrela fixa (por estar muito perto da Terra), ou seja, ele se move em relação às estrelas fixas. Uma forma de facilitar a compreensão desse movimento é imaginar o Sol estacionário e a Terra em órbita ao seu redor.



Tamanhos e distâncias fora de escala.

Na figura acima a linha tracejada é a órbita da Terra ao redor do Sol e, o plano dessa órbita, o plano da eclíptica. Quando a Terra se encontra no ponto A quem está na Terra vê o Sol projetado na esfera celeste em A'. A trajetória do Sol na esfera celeste é chamada eclíptica.

Também podemos representar o movimento aparente através de uma representação onde o observador (quem está na Terra) é colocado no centro:



Tamanhos e distâncias fora de escala.

### III. VETORES

O físico estuda a natureza, os fenômenos naturais, tentando entender as leis que regem a natureza e, para tanto, observa, questiona, lança hipóteses e faz medidas que ajudarão a confirmar, ou não, essas hipóteses. Na física, tudo aquilo que pode ser medido com o uso de um instrumento adequado recebe o nome de grandeza física. As grandezas físicas podem ser escalares ou vetoriais.

Grandezas escalares são aquelas que ficam bem determinadas por um número e uma unidade de medida. Por exemplo, ao se “pesar” numa balança de uma farmácia qualquer, uma pessoa pode encontrar o valor 70 kg e, pronto, esta pessoa não precisa de mais nenhuma informação para entender o valor de sua massa, logo a massa é uma grandeza escalar. Como exemplos de grandezas escalares temos: massa, densidade, tempo, energia, potência, pressão, temperatura e carga elétrica.

Grandezas vetoriais são aquelas que para ficarem bem determinadas exigem um módulo, uma direção e um sentido. Por exemplo, um professor de pé diante de seus alunos ao anunciar que se deslocará dois metros não fornece informações suficientes para que seus alunos descubram qual o seu destino. No entanto, informando que se deslocará dois metros, horizontalmente e para frente, seu destino será precisamente determinado por sua turma, logo deslocamento é uma grandeza vetorial. Como exemplos de grandezas vetoriais temos: velocidade, aceleração, força, quantidade de movimento (momento linear), campo elétrico e indução magnética.

**Note que:**

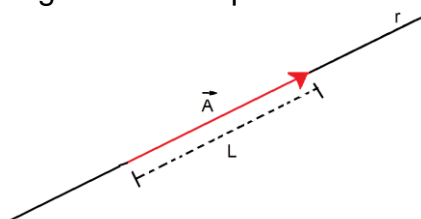
- **Direção (horizontal, vertical, norte-sul, leste-oeste, etc) e sentido (para frente, para trás, para cima, para baixo, etc) são conceitos diferentes. A uma dada direção associamos dois sentidos, por exemplo, a um deslocamento vertical poderemos associar os sentidos para cima ou para baixo.**

---

#### Vetor

---

Um vetor é um ente matemático usado para representar grandezas vetoriais, sendo representado graficamente por uma seta:



Na figura acima, a medida L corresponde ao módulo do vetor  $\vec{A}$ , a reta r indica sua direção e a ponta da seta indica seu sentido.

**Vetor é um ente matemático dotado de módulo, direção e sentido.**

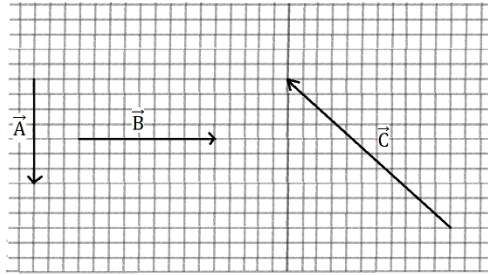
---

#### Adição de vetores

---

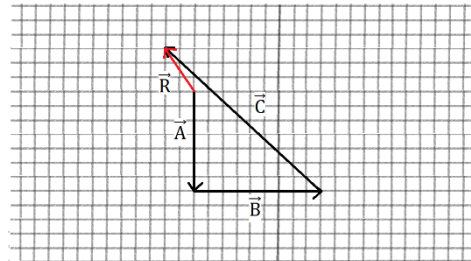
Imagine que um móvel realizou três deslocamentos sucessivos  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$  e  $\vec{C}$  representados abaixo.





O deslocamento resultante,  $\vec{R}$ , é dado por  $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ . Mas como fazer para somar esses vetores?

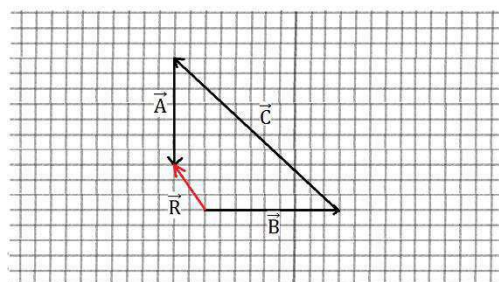
Inicialmente desenha-se o primeiro vetor, então, a partir de sua extremidade, desenha-se o vetor que representa a segunda parcela e, a partir da extremidade deste, desenha-se o próximo. O vetor resultante será o vetor cuja origem coincide com a origem do primeiro vetor parcela e a extremidade coincide com a extremidade do terceiro vetor parcela. Esse método é chamado de **regra do polígono**.



Note que:

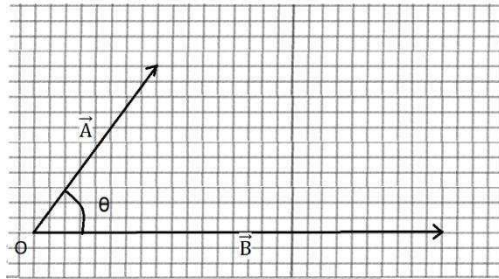
- A regra do polígono pode ser usada para somar qualquer quantidade de vetores, basta que se desenha cada vetor de modo que sua origem coincida com a extremidade do vetor anterior.
- A adição de vetores é comutativa, ou seja, a ordem dos vetores parcelas não altera o vetor soma (resultante):

$$\vec{A} + \vec{B} + \vec{C} = \vec{B} + \vec{C} + \vec{A}$$

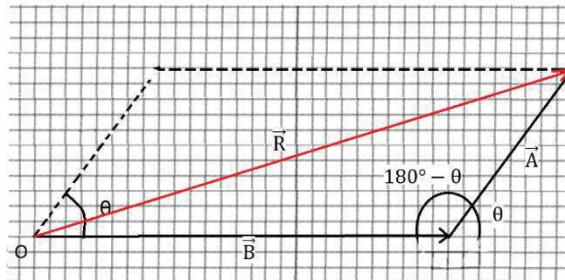


- Se a extremidade do último vetor parcela coincidir com a origem do primeiro vetor parcela, significa que o vetor soma (resultante) é nulo.

Na figura seguinte estão representados dois vetores  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ , ambos com origem em O:

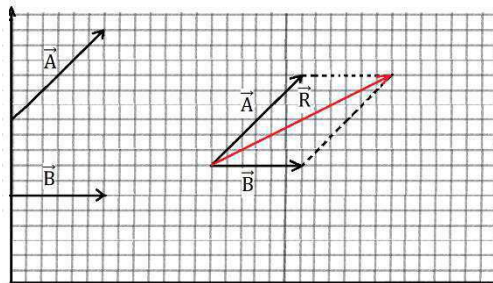


Usando a regra do polígono para  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  encontramos  $\vec{R}$ , ver figura abaixo:



Perceba que o vetor resultante,  $\vec{R}$ , é a diagonal do paralelogramo formado.

Dados dois vetores, para encontrar o vetor resultante de sua soma representamos os dois vetores com suas origens coincidindo, traçamos paralelas a cada vetor passando pela extremidade do outro de modo a formar um paralelogramo. O vetor resultante será a diagonal que parte das origens dos vetores. Esse método é chamado de **regra do paralelogramo**.



Conhecendo os módulos de  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ , o ângulo formado por eles e fazendo uso da **Lei dos cossenos**, podemos encontrar o módulo do vetor resultante.

Na figura anterior, pela Lei dos cossenos temos:

$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos(180^\circ - \theta)$$

Como:  $\cos(180^\circ - \theta) = -\cos \theta$

$$\therefore R^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta$$

**Note que:**

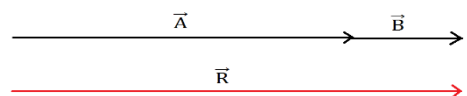
- Quando  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  têm mesma direção e sentido,  $\theta = 0^\circ$ ; então temos:

Como:  $\cos 0^\circ = 1$

$$\therefore R^2 = A^2 + B^2 + 2AB$$

$$\therefore R^2 = (A + B)^2$$

$$\mathbf{R = A + B}$$



- Quando  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  têm mesma direção e sentidos opostos,  $\theta = 180^\circ$ ; então temos:

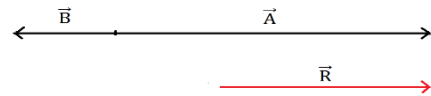
$$R^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos 180^\circ$$

Como:  $\cos 180^\circ = -1$

$$\therefore R^2 = A^2 + B^2 - 2AB$$

$$\therefore R^2 = (A - B)^2$$

$$R = |(A - B)|$$

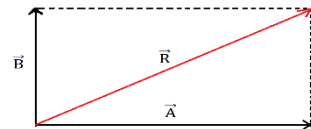


- Quando  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  são perpendiculares,  $\theta = 90^\circ$ ; então temos:

$$R^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos 90^\circ$$

Como:  $\cos 90^\circ = 0$

$$R^2 = A^2 + B^2$$




---

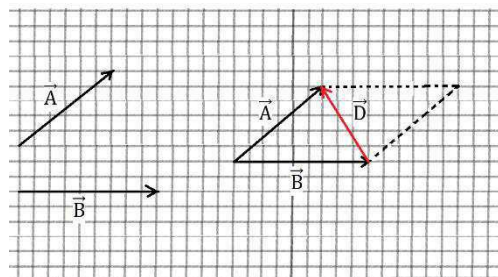
### Subtração de vetores

---

A diferença,  $\vec{D}$ , entre dois vetores  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ , pode ser obtida pela soma de  $\vec{A}$  com o vetor oposto de  $\vec{B}$ , qual seja  $-\vec{B}$ , logo:

$$\vec{D} = \vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$$

Pode-se demonstrar que, graficamente, a representação de  $\vec{D}$  é a diagonal, que liga a extremidade de  $\vec{B}$  com a de  $\vec{A}$ , no paralelogramo formado quando  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  são representados com origens coincidentes.



## IV. RESUMO

- Um foguete é um veículo que se desloca expelindo gases a altas velocidades e que, por conservação do momento linear (quantidade de movimento), se desloca em sentido contrário.
- Classificação dos foguetes:
  1. Quanto ao tipo: sondagem ou VLS.
  2. Quanto ao propelente: combustível sólido, líquido ou híbrido.
  3. Quanto ao número de estágios: mono-estágio, bi ou multi-estágios.
  4. Quanto à sua aplicação: tripulados e não-tripulados.
- Grandes nomes na história do desenvolvimento de foguetes:
  1. **Konstantin Tsiolkovsky** (1857-1935)
  2. **Robert Hutchin Goddard** (1882-1945)
  3. **Wernher Magnus Maximilian von Braun** (1912-1977)
  4. **Sergei Pavlovich Korolev** (1907-1966)

- A corrida espacial foi uma disputa, entre as superpotências (EUA e URSS) emergentes após a 2ª Guerra Mundial, pela conquista do espaço e foi motivada e sustentada pela “Guerra Fria” entre essas duas superpotências.
- No dia 4 de outubro de 1957, foi colocado em órbita do nosso planeta o primeiro satélite artificial da Terra – o Sputnik 1.
- O Sputnik 2 foi lançado, então, menos de um mês depois e desta vez transportando a cachorrinha Laika – o primeiro animal a deixar a Terra.
- O primeiro satélite artificial americano só foi lançado com sucesso em 31 de janeiro de 1958 - o Explorer 1.
- Em 12 de abril de 1961, Yuri Gagarin torna-se o primeiro homem a chegar ao espaço.
- O projeto americano, para chegar à Lua, consistia de três etapas:
  1. Programa Mercury (1961-1963).
  2. Programa Gemini (1965-1966).
  3. Programa Apollo (1967-1972)
- No dia 20 de julho de 1969 vencem a corrida rumo à Lua e o astronauta americano **Neil Armstrong** (1930-2012) pisa em solo lunar.
- Somente em setembro de 1970 os soviéticos conseguiram lançar uma missão não tripulada à Lua para colher amostras e retornar à Terra.
- Após a Lua, os russos dedicaram-se ao desenvolvimento de estações espaciais e construíram a Mir que permaneceu em órbita de 1986 a 2001, enquanto que os americanos passaram à construção de ônibus espaciais.
- Hoje americanos, russos, chineses, japoneses, europeus e indianos têm projetos de ponta para a exploração espacial.
- Na física, tudo aquilo que pode ser medido com o uso de um instrumento adequado recebe o nome de grandeza física.
- As grandezas físicas podem escalares ou vetoriais.
- Grandezas escalares são aquelas que ficam bem determinadas por um número e uma unidade de medida. São exemplos de grandezas escalares tempo, massa e temperatura.
- Grandezas vetoriais são aquelas que para ficarem bem determinadas exigem um módulo, uma direção e um sentido. São exemplos de grandezas vetoriais velocidade, aceleração e força.
- Vetor é um ente matemático dotado de módulo, direção e sentido.

## I. EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

---

### UNIVERSO CONCEITOS BÁSICOS DE CINEMÁTICA ESCALAR

---

**EP1.** Marque a alternativa correta:

- Grandezas escalares ficam bem definidas por um valor numérico, o módulo, com sua respectiva unidade, uma direção e um sentido.
- Grandezas vetoriais ficam bem definidas por um valor numérico e uma unidade de medida.

c) Grandezas escalares ficam bem definidas por um valor numérico e uma unidade de medida.

d) Comprimento, massa, densidade, volume, temperatura e força, são exemplos de grandezas escalares.

e) Deslocamento, velocidade, aceleração e corrente elétrica, são exemplos de grandezas vetoriais.

**EP2.(Cefet-PR)** Verifique quais são as grandezas escalares e vetoriais nas afirmações abaixo.

1) O deslocamento de um avião foi de 100 km, na direção Norte do Brasil.

2) A área da residência a ser construída é de 120,00 m<sup>2</sup>.

3) A força necessária para colocar uma caixa de 10 kg em uma prateleira é de 100 N.

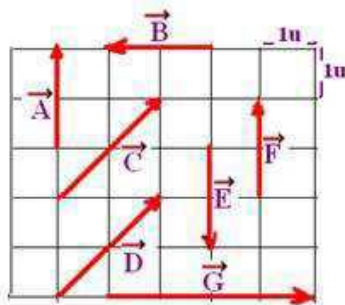
4) A velocidade marcada no velocímetro de um automóvel é de 80 km/h.

5) Um jogo de futebol tem um tempo de duração de 90 minutos.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta.

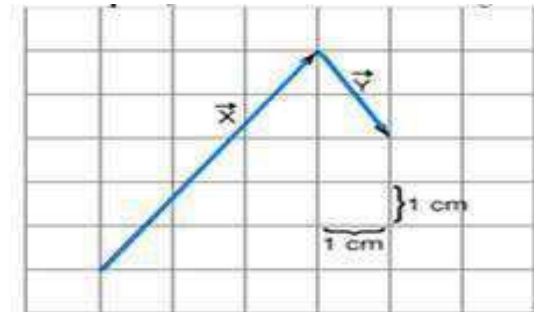
- a) vetorial, vetorial, escalar, vetorial, escalar.
- b) vetorial, escalar, escalar, vetorial, escalar.
- c) escalar, escalar, vetorial, vetorial, escalar.
- d) vetorial, escalar, vetorial, vetorial, escalar.
- e) escalar, escalar, vetorial, escalar, escalar.

**EP.3 (UFB)** Observe a figura a seguir e determine quais os vetores que:



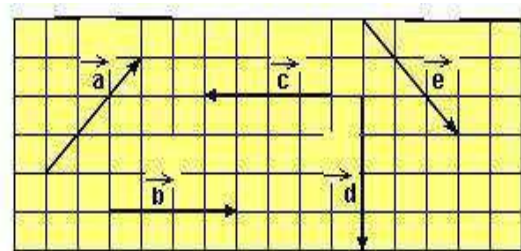
- a) tem a mesma direção.
- b) tem o mesmo sentido.
- c) tem a mesma intensidade (módulo)
- d) são iguais.

**EP4.(UEL-PR)** Na figura a seguir estão desenhados dois vetores ( $\vec{x}$  e  $\vec{y}$ ). Esses vetores representam deslocamentos sucessivos de um corpo. Qual é o módulo do vetor igual a  $\vec{x} + \vec{y}$  ?



- a) 4 cm
- b) 5 cm
- c) 8 cm
- d) 13 cm
- e) 25 cm

**EP5. (CFT-CE)** Dados os vetores "a", "b", "c", "d" e "e" a seguir representados, obtenha o módulo do vetor soma:



$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d} + \vec{e}$$

- a) zero
- b)  $\sqrt{20}$
- c) 1
- d) 2
- e)  $\sqrt{52}$

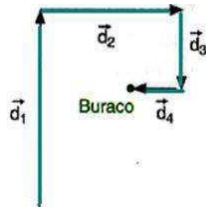
**EP6.** Qual intervalo representa os possíveis valores para o módulo do vetor  $\vec{R}$ , resultante da soma dos vetores  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ , cujos módulos são, respectivamente 5 e 20 unidades?

**EP7.** Dois vetores  $\vec{u}$  e  $\vec{v}$ , de módulos  $u = 7u$  e  $v = 8u$ , de mesma origem, formam entre si um ângulo  $\theta = 60^\circ$ . Qual o módulo do vetor soma?

**EP8. (FATEC-SP)** Um automóvel percorre 6,0km para o norte e, em seguida 8,0km para o leste. A intensidade do vetor posição, em relação ao ponto de partida é:

- a) 14 km
- b) 2,0 km
- c) 12 km
- d) 10 km
- e) 8 km

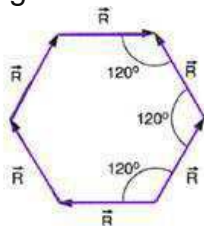
**EP9. (UNEB-BA)** Um jogador de golfe necessita de quatro tacadas para colocar a bola no buraco. Os quatro deslocamentos estão representados na figura abaixo.



Sendo  $d_1 = 15$  m,  $d_2 = 6,0$  m,  $d_3 = 3,0$  m e  $d_4 = 1,0$  m, a distância inicial da bola ao buraco era, em metros, igual a:

- a) 5,0      b) 11      c) 13      d) 17      e) 25

**EP10. (URCAMP-RS)** No sistema plano figurado, representamos os vetores R iguais em módulo. Calcule

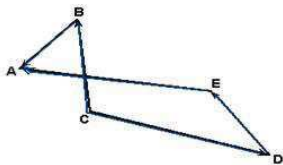


a intensidade do vetor soma.

**EP11. (UFMG)** Uma pessoa sai para dar um passeio pela cidade, fazendo o seguinte percurso: sai de casa e anda 2 quarteirões para o Norte; dobra à esquerda andando mais 2 quarteirões para Oeste, virando, a seguir, novamente à esquerda e andando mais dois quarteirões para o Sul. Sabendo que cada quarteirão mede 100m, o deslocamento da pessoa é:

- a) 700m para Sudeste  
b) 200m para Oeste  
c) 200m para Norte  
d) 700m em direções variadas  
e) 0m

**EP12. (UFC-CE)** Analisando a disposição dos vetores BA, EA, CB, CD e DE, conforme figura a seguir, assinale a alternativa que contém a relação vetorial correta.



- a)  $CB + CD + DE = BA + EA$

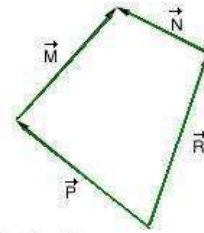
b)  $BA + EA + CB = DE + CD$

c)  $EA - DE + CB = BA + CD$

d)  $EA - CB + DE = BA - CD$

e)  $BA - DE - CB = EA + CD$

**EP13. (FCC-SP)** Qual é a relação entre os vetores,  $\vec{M}$ ,  $\vec{N}$ ,  $\vec{P}$ , e  $\vec{R}$  representados abaixo?



a)  $\vec{M} + \vec{N} + \vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$ .

b)  $\vec{P} + \vec{M} = \vec{R} + \vec{N}$ .

c)  $\vec{P} + \vec{R} = \vec{M} + \vec{N}$ .

d)  $\vec{P} - \vec{R} = \vec{M} - \vec{N}$ .

e)  $\vec{P} + \vec{R} + \vec{N} = \vec{M}$ .

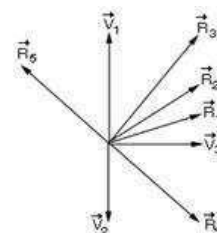
**EP14. (CFT-CE)** Para se posicionar frente ao gol adversário, um jogador efetua deslocamentos rápidos e sucessivos em linha reta, com módulos de 1,8 m e 2,4 m, deixando completamente para trás a defesa oponente.

Para que o deslocamento resultante da bola seja de 3,0m, o ângulo entre estes deslocamentos deve ser de:

- a)  $0^\circ$       b)  $30^\circ$       c)  $60^\circ$       d)  $90^\circ$   
e)  $120^\circ$

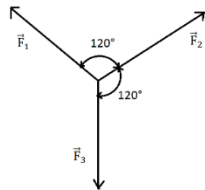
**EP15. (Faap-SP)** A intensidade da resultante entre duas forças concorrentes, perpendiculares entre si, é de 75 N. Sendo a intensidade de uma das forças igual a 60 N, calcule a intensidade da outra.

**EP16. (MACKENZIE-SP)** A resultante dos vetores  $\vec{v}_1$ ,  $\vec{v}_2$  e  $\vec{v}_3$  mostrados na figura é:

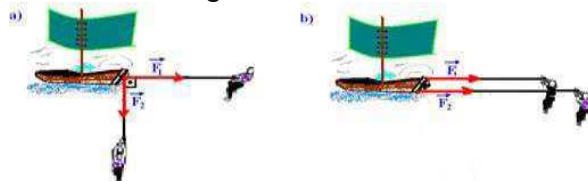


- a)  $\vec{R}_1$     b)  $\vec{R}_2$     c)  $\vec{R}_3$     d)  $\vec{R}_4$   
 e)  $\vec{R}_5$

**EP17.** Os vetores  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  e  $\vec{F}_3$ , têm módulos iguais a  $F$  e origens coincidentes em  $O$ . Calcule o módulo do vetor resultante  $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ .

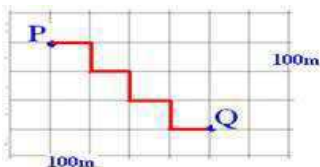


**EP18. (PUC- SP)** Os esquemas ao lado mostram um barco retirado de um rio por dois homens. Em (a) são usadas cordas que transmitem ao barco forças paralelas de intensidades  $F_1$  e  $F_2$ . Em (b) são usadas cordas inclinadas de  $90^\circ$  que transmitem ao barco forças de intensidades iguais às anteriores.



Sabe-se que, no caso (a), a força resultante transmitida ao barco tem intensidade 50 kgf e que, no caso (b), tem intensidade de 70 kgf. Nessas condições, determine os esforços desenvolvidos pelos dois homens.

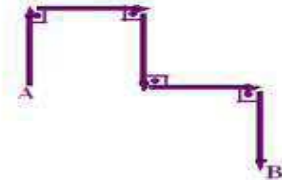
**EP19.(PUCCAMP-SP)** Num bairro onde todos os quarteirões são quadrados e as ruas paralelas distam 100m uma da outra, um transeunte faz o percurso de P a Q pela trajetória representada no esquema



O deslocamento vetorial desse transeunte tem módulo, em metros, igual a:

- a) 300    b) 350    c) 400    d) 500  
 e) 700

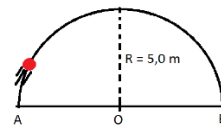
**EP20. (UFRN)** A figura abaixo representa o deslocamento de um móvel em várias etapas. Cada vetor tem módulo igual a 20m.



A distância percorrida pelo móvel e a intensidade do vetor deslocamento são, respectivamente:

- a)  $20\sqrt{5}m$  e  $20\sqrt{5}m$   
 b) 40m e  $40\sqrt{5}m$   
 c) 100m e  $20\sqrt{5}m$   
 d)  $20\sqrt{5}m$  e 40m  
 e) 100m e  $40\sqrt{5}m$

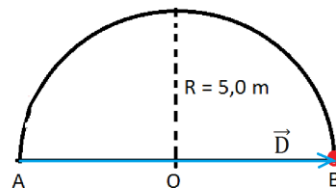
**ER1. Um móvel desloca-se do ponto A ao ponto, diametralmente oposto, B sobre a semicircunferência, de raio  $R=5m$ , representada abaixo.**



**Determine a intensidade de seu deslocamento vetorial e de seu deslocamento escalar (distância percorrida sobre a circunferência).**

**Resolução:**

Seu deslocamento vetorial é dado pelo vetor com origem em A, ponto de partida, e extremidade em B, ponto de chegada:



No entanto, a distância percorrida,  $d$ , corresponde à medida da

semicircunferência correspondente à sua trajetória, logo:

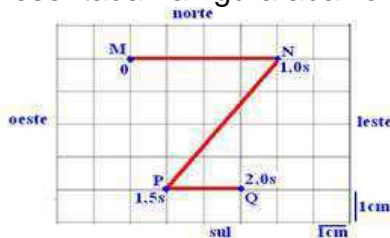
$$d = \frac{2\pi R}{2} = \pi \cdot 5,0$$

$$\therefore d = 5\pi \text{ m}$$

**EP21. (PUC-SP)** Se a velocidade vetorial de um ponto material é constante e não nula, sua trajetória:

- a) é uma parábola
- b) pode ser retilínea, mas não necessariamente
- c) deve ser retilínea
- d) é uma circunferência
- e) pode ser uma curva qualquer

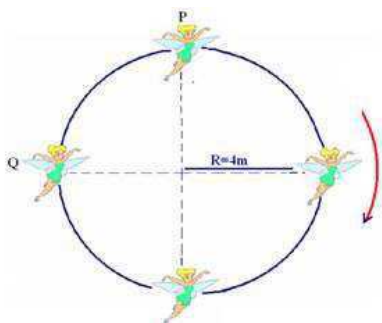
**EP22. (UCBA)** Uma partícula percorre a trajetória MNPQ, representada na figura abaixo.



Os instantes de passagem pelos diferentes pontos estão anotados na figura. Determine, nesses 2s, em cm/s:

- a) a velocidade escalar média da partícula
- b) a velocidade vetorial média  $\vec{V}_m$  da partícula

**EP23. (UFB)** A fada Sininho, personagem do famoso filme de Walt Disney, Peter Pan, baseado no livro

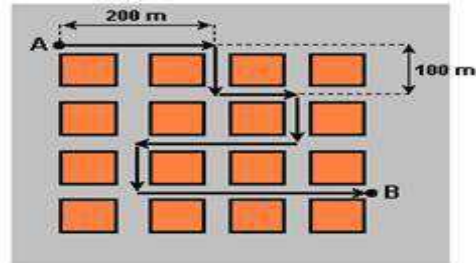


“Peter and Wendy” de J. M.Barrie, está voando e descrevendo três quartos de uma circunferência de raio 4m, do ponto P até o ponto Q, no sentido horário, em 2 s. Pode-se determinar, nesse deslocamento:

- a) a variação de espaço

- b) o vetor deslocamento
- c) a velocidade escalar média
- d) a velocidade vetorial média

**EP24. (PUC-PR)** Um ônibus percorre em 30 minutos as ruas de um bairro, de A até B, como mostra a figura:



Considerando a distância entre duas ruas paralelas consecutivas igual a 100 m, analise as afirmações:

- I. A velocidade vetorial média nesse percurso tem módulo 1 km/h.
- II. O ônibus percorre 1500 m entre os pontos A e B.
- III. O módulo do vetor deslocamento é 500 m.
- IV. A velocidade vetorial média do ônibus entre A e B tem módulo 3 km/h.

Estão corretas:

- a) I e III. b) I e IV. c) III e IV. d) I e II. e) II e III.

**EP25. (UEPG-PR)** Pode-se considerar a velocidade pelo aspecto vetorial e escalar. Com relação à



velocidade vetorial, quando o corpo descreve uma trajetória qualquer, assinale o que for correto e dê como resultado a soma dos números correspondentes:

- (01) Em qualquer ponto da trajetória, a soma de suas componentes é constante se o movimento for uniforme
- (02) A direção é sempre tangente à trajetória

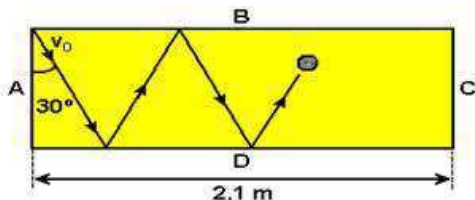


(04) é plenamente determinada quando se conhece seu módulo, sua direção e seu sentido.

(08) Num ponto da trajetória, o módulo da velocidade vetorial é igual ao valor da velocidade escalar.

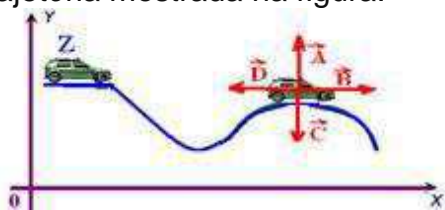
(16) Sendo suas componentes constantes, o movimento é circular e uniforme

**EP26. (UFPE-PE)** Um disco de plástico é lançado com velocidade inicial  $V_0 = 14 \text{ m/s}$  fazendo um ângulo de  $30^\circ$  com a borda A de uma mesa horizontal, como mostrado na figura. Após o lançamento, o disco desliza sem atrito e segue uma trajetória em zigzague, colidindo com as bordas B e D.



Considerando que todas as colisões são perfeitamente elásticas, calcule o intervalo de tempo, em unidades de  $10^{-2}$  segundos, para o disco atingir a borda C pela primeira vez.

**EP27. (UFRGS)** Um automóvel Z se desloca para a direita mantendo a velocidade de  $60 \text{ km/h}$  ao longo da trajetória mostrada na figura:



Considerando que esse movimento ocorre numa superfície plana horizontal representada pelo plano desta página (xy), identifique os vetores que melhor indicam a direção e o sentido da velocidade do automóvel e a aceleração centrípeta que atua nele ao passar pelo ponto P.

**EP28. (UFU-MG)** As informações do movimento de um móvel:

I- A aceleração tangencial é nula

II- A intensidade da aceleração centrípeta é constante e não nula

Por isso, pode-se afirmar que:

a) a direção da velocidade é constante

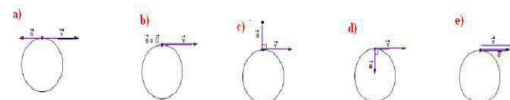
b) o movimento é retilíneo e uniforme

c) o movimento é circular e uniforme

d) a intensidade da velocidade não é constante

e) o módulo e a direção da velocidade não são constantes

**EP29. (FGV-SP)** A figura que melhor representa os vetores velocidade instantânea e aceleração instantânea, para uma partícula descrevendo um movimento circular uniforme é:



**EP30. (UFPA)** Uma partícula percorre, com movimento uniforme, uma trajetória não retilínea. Em cada instante teremos que:

a) Os vetores velocidade e aceleração são paralelos entre si;

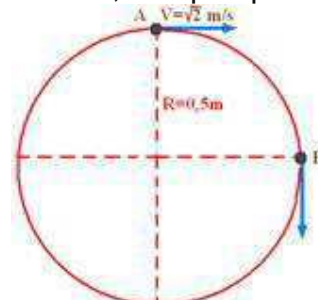
b) A velocidade vetorial é nula;

c) Os vetores velocidade e aceleração são perpendiculares entre si;

d) Os vetores velocidade e aceleração têm direções independentes;

e) O valor do ângulo entre o vetor velocidade e o vetor aceleração muda de ponto a ponto.

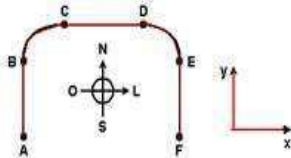
**EP31. (PUC-MG)** Um objeto em movimento circular uniforme passa pelo ponto A e, 1s após passa pelo



ponto B. A aceleração média nesse intervalo de tempo é, em  $m/s^2$ :

- a)  $\sqrt{2}$       b) 2      c) 0      d) 0,5  
 e) 4

**EP32. (ITA-SP)** A figura mostra uma pista de corrida A B C D E F, com seus trechos retilíneos e circulares percorridos por um atleta



desde o ponto A, de onde parte do repouso, até a chegada em F, onde pára. Os trechos BC, CD e DE são percorridos com a mesma velocidade de módulo constante.

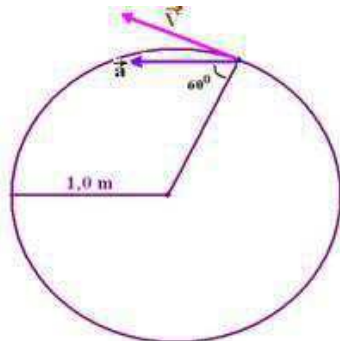
Considere as seguintes afirmações:

- I. O movimento do atleta é acelerado nos trechos AB, BC, DE e EF.
- II. O sentido da aceleração vetorial média do movimento do atleta é o mesmo nos trechos AB e EF.
- III. O sentido da aceleração vetorial média do movimento do atleta é para sudeste no trecho BC, e, para sudoeste, no DE.

Então, está(ão) correta(s)

- a) apenas a I.  
 b) apenas a I e II.  
 c) apenas a I e III.  
 d) apenas a II e III.  
 e) todas.

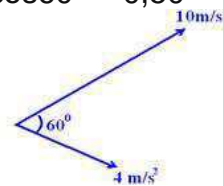
**EP33.(UFCE-CE)** Uma partícula descreve trajetória circular, de raio  $r=1,0m$ , com velocidade variável. A figura mostra a partícula em um dado instante de tempo em que sua aceleração tem módulo  $a=32m/s^2$  e aponta na direção e sentido indicados.



Nesse instante, o módulo da velocidade da partícula é:

- a) 2,0 m/s      b) 4,0 m/s  
 c) 6,0 m/s  
 d) 8,0 m/s      e) 10,0 m/s

**EP34. (FATEC-SP)** Num certo instante estão representadas a aceleração e a velocidade vetoriais de uma partícula. Os módulos dessas grandezas estão também indicados na figura. Dados:  $\text{sen}60^\circ = 0,87$        $\text{cos}60^\circ = 0,50$

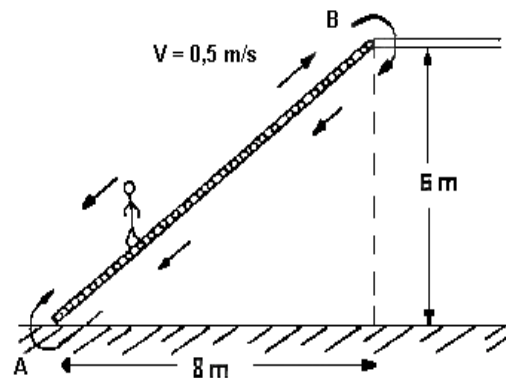


No instante considerado, o módulo da aceleração escalar, em  $m/s^2$ , e o raio de curvatura, em metros, são, respectivamente,

- a) 3,5 e 2,5  
 b) 2,0 e 2,8  
 c) 4,0 e 36  
 d) 2,0 e 29  
 e) 4,0 e 58

**EP35. (UFPE)** A escada rolante de uma galeria comercial liga os pontos A e B em pavimentos consecutivos a uma velocidade ascendente constante de 0,5 m/s, conforme mostrado na figura.

Se uma pessoa consegue descer contra o sentido de movimento da escada e leva 10 segundos para ir de B até A, pode-se afirmar que sua velocidade, em relação à escada, foi em m/s igual a:



- a) 0,0    b) 0,5    c) 1,0    d) 1,5  
e) 2,0

**EP36. (FUVEST-SP)** Num vagão ferroviário, que se move com velocidade  $V_0=3\text{m/s}$  com relação aos trilhos, estão dois meninos que correm um em direção ao outro, cada um com velocidade  $V=3\text{m/s}$ , com relação ao vagão.



A velocidade dos meninos  $V_A$  e  $V_B$ , com relação aos trilhos, será, respectivamente:

- a) 6 m/s e 0                      b) 3 m/s e 3 m/s  
c) 0 e 0    d) 9 m/s e 0                      e) 8 m/s e 8 m/s

**EP37. (PUC-MG)** Quando navega a favor da correnteza, um barco desenvolve 40 km/h; navegando contra, faz 30 km/h. Para ir de A até B, pontos situados na mesma margem, gasta três horas menos que na volta. A distância entre A e B é de: a)360 km b)420 km c)240 km d)300 km e)180 km

## II. SUGESTÕES PARA FAZER, LER, VISITAR OU ASSISTIR

### Atividades práticas

- Construir e manipular um relógio de Sol simples.
- Comparar a hora solar verdadeira do relógio de Sol com a hora legal.
- Medir, ao longo do ano, com um gnômon a altura meridiana do Sol.

### Revistas

- Astronomy – <http://astronomy.com/>;
- Scientific American Brasil – <http://www2.uol.com.br/sciam/>;

- Ciência Hoje – <http://cienciahoje.uol.com.br/>;

### Sítios

- Agência Espacial Brasileira – <http://www.aeb.gov.br/>;
- Observatório Nacional – <http://www.on.br/>;
- Planetários – <http://www.planetarios.org.br/>;
- Inpe – <http://www.inpe.br/>;
- Nasa – <http://www.nasa.gov/>;
- OBA – <http://www.oba.org.br/>;
- Biblioteca Virtual de Astronomia – <http://www.prosiga.br/astronomia/>;

### Filmes

- 2001: Uma Odisséia no Espaço;
- O Céu de Outubro;
- Impacto Profundo;
- Da Terra à Lua;
- Cosmos (Carl Sagan);
- Cosmos (Neil deGrasse Tyson);
- Os Eleitos;
- 1492 – A Conquista do Paraíso;
- A volta ao Mundo em 80 Dias;
- A Máquina do Tempo;
- APOLLO 13;
- O Planeta Vermelho;
- O Núcleo – Missão ao Centro da Terra (2003);
- Guerra dos Mundos (1952);
- Guerra dos Mundos (2005);
- Prometheus;
- Interestelar;
- Perdido em Marte.