



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

## A LEI DE HUBBLE

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte

Joav Waga

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro  
**02/2016**

## **Introdução à Astronomia**

O texto a seguir consiste numa breve e simplificada introdução à Astronomia para auxiliar professores de Física do nível médio, mas que se necessário possa ser usado diretamente com os alunos.

A sua intenção é discutir o básico sobre o assunto para que seja possível o aprofundamento em assuntos relacionados e com maior grau de dificuldade. Trata inicialmente da caracterização e da descrição de alguns corpos celestes, em seguida discute-se algumas das unidades medidas em escalas astronômicas (as medidas de tamanhos, distâncias e do passar do tempo) e como elas são difíceis de se imaginar por estar tão “fora” do nosso senso comum. Por fim é feita uma breve discussão das pesquisas espaciais e dos benefícios que essas trazem para a sociedade.

## Apêndice B. Introdução à Astronomia

Este texto é composto de 3 partes: os astros (seções B1 a B9), tamanhos, distâncias e tempo em escalas astronômicas (seção B10) e a pesquisa espacial (B11).

### B.1. O que é Astronomia



**Figura B.1.** Fotografia tirada pelo telescópio espacial Hubble<sup>1</sup>

O céu noturno é um dos fascínios mais antigos da humanidade. Sendo nós criaturas intrinsecamente curiosas, não é de se espantar que esse esplendor que se mostra à nossa vista todas as noites tenha sido um dos primeiros (potencialmente o primeiro) objetos de estudo da humanidade. Há indícios de gravuras feitas com ossos que datam mais de 30.000 anos que parecem tratar das fases da Lua. Isso ocorreu 25.000 anos antes do uso da escrita! Não que a mudança constante da Lua, e a beleza da

---

<sup>1</sup> Disponível em < <http://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/telescopio-espacial-hubble-faz-um-resumo-da-historia-do-universo-12219103> > Acesso em dez. 2015

vasta imensidão do espaço sideral não fossem motivos suficiente, mas o estudo dos corpos celestes (sobretudo de seu movimento) foi fundamental em diversos aspectos práticos para a humanidade, como o conhecimento das estações do ano, por exemplo (o que já implica um grande avanço na agricultura), reconhecer os períodos de abundância alimentar, de frio, e as transformações que elas acarretavam era fundamental para a sobrevivência dos povos antigos, seja para o preparo em antemão de um abrigo, da estocagem dos alimentos, ou mesmo da mudança do local de habitação. E, falando nisso, o movimento dos astros serviu por muito tempo como o guia na migração dos povos, sendo a referência para a localização dos pontos cardeais, especialmente nas navegações (onde qualquer outra referência “some”). O nosso calendário está intimamente ligado à observação dos corpos celestes: Um dia é o tempo que a Terra leva para completar uma volta em torno de si mesma, as semanas correspondem ao tempo das fases da Lua, e o mês é o completar do seu ciclo (a passagem das quatro fases). Por fim, o ano corresponde a uma volta da Terra em torno do Sol.

Sendo então tão importante para a humanidade, nada mais natural do que a construção de uma ciência que estude os astros. A essa ciência deu-se o nome de Astronomia. Após séculos da evolução dela, ela possui hoje diversos ramos, mas sua essência continua a ser o estudo dos corpos celestes.

## **B.2. Sobre os Astros**

Quando olhamos para o céu noturno, mesmo em grandes cidades, é possível olhar diversas estrelas no espaço sideral. Apesar disso, o espaço está povoado por diversos astros menores, tais como planetas, satélites naturais (luas), asteroides, meteoroides, cometas, etc. Apesar das diferenças significativa entre eles, todos compartilham uma formação similar. Numa explicação bastante simplificada, podemos imaginar a formação desses astros da seguinte forma: Todos os corpos são constituídos por átomos, que por sua vez são formados por elétrons, prótons e nêutrons (embora eles também são formados por estruturas menores, não é necessário citá-los em uma primeira abordagem do assunto). Como veremos mais adiante, os corpos celeste, no geral, estão separados por distâncias tremendas, mas essas não são completamente

vazias. Há “poeiras” de matéria, constituída por átomos como todos os demais corpos. Elas são uma espécie de estrutura básica, formada por átomos que estavam “vagando” no espaço. Esses átomos, por sua vez, surgem de diversas “fontes”. Imagine, por exemplo, que um próton é expelido por uma estrela durante a reação química que ocorre nela (responsável pelo seu brilho). Esse próton pode colidir com um elétron que também tenha sido expelido. Devido à interação eletrostática entre os dois (cargas opostas se atraem) eles podem se combinar (o elétron fica preso ao próton, na eletrosfera). Assim se deu a formação de um átomo de hidrogênio. Se o número de elétrons e prótons combinados fosse maior (ou se a ligação ocorresse envolvendo também nêutrons), outros elementos teriam se formado. Podemos fazer uma analogia com duas gotas de água que estão sobre uma superfície sólida. Se eles “se encontram”, elas se aglutinam, formando uma gota maior. Esses átomos, ao se combinarem (após a colisão com outros átomos “nômades”) podem formar moléculas. Quando essas moléculas também se combinam com outras moléculas, estruturas mais complexas vão se formando. Dependendo da quantidade de matéria acumulada, teremos um ou outro corpo celeste. Assim, podemos dizer de maneira simplificada, que a diferença básica na formação dos astros é a quantidade de matéria que ele “aglutina”. Quando o corpo já possui grandes (em escala astronômica) quantidades de massa, o corpo “gera” também um expressivo campo gravitacional, atraindo para si mais matéria. Além disso, o contrário também pode ocorrer. Ao invés de uma estrutura menor formar uma maior, uma maior pode “gerar” uma menor. Um planeta, por exemplo, pode, após uma colisão, ter parte de sua massa separada do restante. Esse pedaço pode vir a se tornar uma lua. Da mesma forma, parte de um cometa pode dar origem a um meteoróide. É bom deixar claro, porém, que não há uma linha bem definida a distinguir alguns desses astros (em particular, os de “pequeno” porte). Alguns asteroides, por exemplo, tem características (e origem) similar a alguns cometas. Dito isso, veremos agora um pouco mais sobre essas diferentes estruturas que podem ser formadas:

### B.3 Meteoroides, Meteoros e Meteoritos



**Figura B.2.** Fotografia de um meteoro (risco branco no canto superior direito da imagem).<sup>2</sup>

Meteoroide é o nome dado à alguns corpos sólidos que vagam no espaço pequenos demais para serem considerados asteroides. Apesar disso, não há uma linha bem definida separando os corpos que devem ser chamados de asteroides dos que devem ser chamados de meteoroides. Em especial, quando um astro tem algo em torno de dez metros de diâmetro, ele pode ser chamado tanto de um quanto de outro. Por outro lado, é possível dizer que um astro será chamado de asteroide quando os elementos de sua órbita são bem definidos.

O meteoróide é muitas vezes confundido com outros dois corpos celestes, o meteoro e o meteorito. Há os que pensam que esses três só diferam pelo tamanho, e outros que acreditem que esses três são sinônimos. Acontece que, de fato, esses três nomes são dados ao mesmo corpo, mas em diferentes circunstâncias. O meteoróide é o corpo descrito acima quando ele vaga pelo espaço sideral. Se, por um acaso, um meteoróide entrar na atmosfera da Terra, ele passa a ser chamado de meteoro. Nessa situação, devido o atrito com a atmosfera, ele “queima”, ficando incandescente (ver Figura B.2). No geral, por ser pequeno, ele se desfaz em pouco tempo, não chegando a atingir a superfície da Terra. Esse fenômeno é mais comumente chamado de estrela cadente, aquele risco no céu quase rápido demais para se ter certeza do que se viu. Esse

---

<sup>2</sup> Disponível em < <http://www.observatorio.ufmg.br/pas02.htm>> Acesso em dez. 2015

é na verdade uma fenômeno bastante comum, caindo diariamente em todo o nosso planeta cerca de dez mil toneladas deste material. Embora, além de, como foi dito, grande parte dessa quantidade não atinja a superfície da Terra, outra parte considerável sequer é visível a olho nu (por se tratar de um corpo muito pequeno), sendo detectado apenas por radares. Para que um meteoróide seja visto ao entrar na atmosfera do nosso planeta, ele deve ter pelo menos um grama de massa. Quando o meteoróide, após se “transformar” em meteoro não é desintegrado na atmosfera, atingindo a superfície do planeta, ele recebe o nome de meteorito. Quase um quarto dos meteoritos são formados por uma liga metálica de níquel e ferro. Apesar disso, esses elementos são minorias entre os meteoróides, porém eles estão mais presentes entre os meteoritos pois possuem mais probabilidade de “sobreviverem” à violenta viagem na atmosfera terrestre que os meteoróides compostos de elementos menos resistentes. É interessante mencionar uma das formas mais simples de se procurar meteoritos: Embora provavelmente imaginemos um dispositivo (algo como um detector de metais), a base para a sua procura reside na escolha do local a se vasculhar. Tipicamente em desertos ou geleiras. Como essa busca é equivalente àquela do ditado popular da agulha no palheiro, devemos procurar em um palheiro que não esteja muito cheio. Assim, se estamos em uma geleira, e a única coisa que vemos ao nosso redor além da neve é um pequeno pedaço de rocha, sendo a única do local, é bem provável que ele tenha vindo do espaço. O interessante nesse raciocínio é a criatividade investigativa. A engenhosidade está muito mais presente (e é muito mais essencial) nas ciências, do que se pensa, sendo ela uma grande solucionadora de problemas.

## B.4 Cometas



**Figura B.3:** Cometa Ison.<sup>3</sup>

Cometas são aglomerados de gelo, neve e poeira, tipicamente da ordem de 10 km de diâmetro. O seu centro contém um pequeno núcleo rochoso, além de pedaços de gelo e gases congelados embutidos na rocha e poeira. Quando um cometa está a uma distância menor que o dobro da distância da Terra ao Sol, o calor da nossa estrela começa a derreter o gelo e a neve contidos nele, e a radiação solar empurra o gás e a poeira do cometa para “longe” do Sol, criando a típica imagem associada aos cometas, a chamada “cauda” do cometa. Daí resulta que, ao contrário do que se costuma pensar, a cauda não está apontada para o lado oposto ao que o cometa se desloca, mas sim para o lado oposto ao que se encontra o Sol. Embora a maior parte do cometa (tipicamente de 75% a 80% dele) seja composta de água congelada, outras substâncias químicas que comumente o constituem são o monóxido de carbono ( $CO$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ) e amônia ( $NH_3$ ). O mais famoso dos cometas é o cometa Halley, que completa um ciclo de sua órbita em 76 anos. Por ser constituído de um material não muito resistente, os cometas costumam ter “vida curta” em comparação aos corpos celestes, podendo ser completamente destruídos na colisão com outros astros, ou mesmo ao sofrer grandes variações de temperatura, sobrevivendo apenas para dar algumas milhares de voltas em torno do sol. Embora possa parecer muito, isso nem se compara

---

<sup>3</sup> Disponível em < <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2013/11/cometa-ison-teria-sobrevivido-apos-passar-perto-do-sol-dizem-cientistas.html> > Acesso em dez. 2015.

ao tempo de vida dos demais astros. Veja o cometa Halley, por exemplo. Vamos supor que ele dê cinco mil voltas ao redor do Sol antes de “morrer”. Como ele leva 76 anos para completar uma volta, ele terá vivido um total de trezentos e oitenta mil (380.000) anos. Uma estrela dura tipicamente dez bilhões (10.000.000) de anos.

## B.5 Asteroides



**Figura B.3:** Fotografia de um asteroide.<sup>4</sup>

Asteroides formam um grande e disperso grupo do sistema solar. O mais antigo e bem conhecido grupo forma um cinturão de asteroides entre Marte e Júpiter. Os asteroides mais distantes do Sistema Solar estão muito mais distantes que a órbita de plutão, e há ainda asteroides que chegam a se aproximar mais do Sol do que a Terra. O tamanho do diâmetro dos asteroides pode variar de algumas centenas de metros a algumas centenas de quilômetros. O maior asteroide conhecido, Ceres, é classificado com um planeta anão (próximo astro a ser descrito), e, como já foi dito, a linha que separa pequenos asteroides de meteoroides não é bem definida. A composição dos asteroides varia muito, podendo ele ser formado de gelo e aglomerado de matéria, tais

---

<sup>4</sup> Disponível em < [https://twitter.com/AsteroidWatch?ref\\_src=twsrc%5Etfw](https://twitter.com/AsteroidWatch?ref_src=twsrc%5Etfw) > Acesso em dez.2015.

como os cometas, de ligas metálicas (de ferro e níquel) ou de corpos sólidos pedregosos.

Ao final do ano de 2006 já haviam sido encontrados mais de 140 mil asteroides. Esse número cresce na casa de centenas a cada mês, tendo sido estimado que há mais de um milhão de asteroides com mais de 1 km de diâmetro no Sistema Solar. Apesar disso, por seu tamanho, eles não representam uma grande porção de massa do Sistema Solar. O tal cinturão citado anteriormente, possui menos que 1 milionésimo (1/1000000) da massa da Terra.

## **B.6 Planeta-anão**



**Figura B.4:** Plutão.<sup>5</sup>

De acordo com a União Internacional de Astronomia (International Astronomical Union – IAU), um planeta-anão é definido como um corpo celeste que orbita ao redor de uma estrela, tem massa suficiente para que sua gravidade seja intensa o bastante para que sua matéria seja distribuída com certa simetria esférica (de forma que o corpo seja quase redondo), e cuja órbita não é “absoluta” (isso quer dizer que sua órbita pode interceptar outras órbitas planetárias, diferente dos demais planetas) e que não seja um satélite.

---

<sup>5</sup> Disponível em < <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2015/07/sonda-new-horizons-da-nasa-capta-nova-imagem-aproximada-de-plutao.html> > Acesso em dez.2015.

O limite inferior de tamanho dos planetas-anões não é estritamente definido, visto que sua classificação depende mais de sua massa que de seu tamanho (se ela é suficiente para lhe dar a forma arredondada). Alguns exemplos de planetas-anões do Sistema Solar são Ceres, Plutão e Éris, embora estime-se que em torno de cinquenta planetas-anões serão descobertos nos próximos anos. Uma curiosidade a respeito dos planetas-anões é que eles podem possuir satélites naturais (luas). Plutão, cujo diâmetro é de 2300 km, possui cinco luas: Caronte (cujo diâmetro de 1200 km é mais que a metade do de Plutão, Nix, Hidra, Cérbero e Estige. Plutão leva 250 anos terrestres para completar sua órbita em torno do Sol, ao longo desse tempo ele fica por 20 anos terrestres mais próximo do Sol que Netuno. É nesse sentido que foi dito não possuir órbita “absoluta”. Apesar disso, não há perigo de Plutão e Netuno colidirem, já que suas órbitas ocupam planos diferentes, não coincidindo em nenhum ponto.

## **B.7 Satélites Naturais (luas)**



**Figura B.5:** Lua<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Disponível em < <http://www.nasa.gov/feature/goddard/rare-full-moon-on-christmas-day> > Acesso em dez.2015.

Um satélite natural é um corpo celeste que orbita outro corpo (que não seja uma estrela), de forma que o centro de massa desse sistema esteja “dentro” deste outro corpo (usualmente chamado de corpo primário). Caso o centro de massa não esteja no interior de nenhum dos corpos, então esse sistema é chamado de sistema binário. Por exemplo, podemos dizer que a Lua é um satélite da Terra porque o centro de massa do sistema Terra-Lua “se encontra” na Terra. Já o sistema Plutão-Caronte é um sistema binário, já que o centro de massa dele não está nem em Plutão nem em Caronte. Portanto, tecnicamente, é conceitualmente errado falarmos que Caronte é uma lua de Plutão. Apesar disso, este é um fator puramente técnico, não sendo incomum o uso da frase para fins de simplificação. Apenas dois dos planetas do Sistema Solar não possuem luas: Mercúrio e Vênus. A Terra é o único planeta que possui apenas uma lua.

Há três formas básicas de formação de luas. Durante o processo de formação de uma estrela, diversas porções “pequenas” de sua massa podem ser espalhadas. Essas porções formam os diversos astros que compõem um sistema estelar, orbitando em torno da estrela que o originou devido o campo gravitacional dela, ou, se escapa desse campo, pode vir a compor outro sistema. É possível que essa porção seja dividida em partes menores, e, devido à proximidade entre essas partes, uma (ou mais) dessas pequenas porções podem ficar presas pelo campo gravitacional da porção mais massiva. Assim, essa porção (ou essas porções) capturada passa a ser uma lua, que orbita a porção maior, podendo esta ser um planeta, um planeta anão ou mesmo um asteroide. Essa é uma das três maneiras de surgimento de um satélite natural. Outra possibilidade é que um astro “pequeno” (tal como um asteroide ou meteoróide) seja capturado pelo campo gravitacional de um astro mais massivo, passando a orbitá-lo. Esse astro mais massivo pode ser um planeta ou mesmo outro asteroide. Por fim, é possível que um corpo celeste, digamos um planeta, ao ser atingido por outro, perca um pedaço seu devido à colisão. Mais uma vez, caso esse pedaço seja preso pelo campo gravitacional desse planeta de forma que ele o orbite, esse pedaço passa a ser uma lua desse planeta.

## B.8. Planetas

A definição de planeta segundo a União Internacional de Astronomia é muito semelhante à definição de um planeta anão. Ambos são corpos celestes que orbitam ao redor de uma estrela e têm massa suficiente para que sua gravidade seja intensa o bastante para que sua matéria seja distribuída com certa simetria esférica (de forma que o corpo seja quase redondo). A distinção entre os dois é que a órbita de um planeta é “absoluta” (isso quer dizer que sua órbita não intercepta outras órbitas planetárias). Em outras palavras, ele não “divide sua órbita (ou partes dela) com outros planetas. Assim, a principal razão para Plutão ter sido classificado na Assembleia Geral da União Internacional de Astronomia, que ocorreu em 2006, como planeta anão é o fato de ele, como já foi dito, ter um pequeno trecho de sua órbita na qual ele fica mais próximo do Sol que Netuno.

O nosso Sistema Solar é composto por oito planetas. São eles (em ordem crescente de proximidade com o Sol): Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Os quatro primeiros são rochosos, e os quatro últimos são gasosos, exceto por seus núcleos, também rochosos. Para uma descrição clara e sucinta deles (além do Sol e de outros corpos menores do Sistema Solar), recomendamos o vídeo Jornada no Sistema Solar produzido por Igor Borgo e Marta F. Barroso<sup>7</sup>. Apesar disso, segue uma breve descrição deles em ordem crescente de proximidade com o Sol:

---

<sup>7</sup> Disponível em <[www.youtube.com/playlist?list=PL206DF09E960888F7](http://www.youtube.com/playlist?list=PL206DF09E960888F7)> Acesso em jan.2016

### B.8.1. Mercúrio



**Figura B.6:** Mercúrio.<sup>8</sup>

Mercúrio é o menor planeta do Sistema Solar, sendo pouco maior que a nossa Lua. Apesar de ser o mais próximo do Sol e de, em função disso, atingir altíssimos valores de temperatura, a média de sua temperatura é a segunda maior, perdendo para Vênus. Isso porque Mercúrio não possui atmosfera, fazendo com que a parte que não receba incidência de luz solar (durante a noite) esfrie rapidamente. Em função disso, a sua temperatura pode variar de  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A incidência da luz do Sol sobre o planeta é quase perpendicular ao seu eixo de rotação, o que faz com que sejam regiões nos polos onde a temperatura permanece sempre abaixo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , é comum que haja gelo nessas regiões. Acredita-se que esse gelo seja proveniente de cometas que colidiram com o planeta. Mercúrio possui um grande núcleo de ferro com cerca de 1.900 Km de raio, o restante de sua crosta engloba cerca de 600 km composta por silicatos.

---

<sup>8</sup> Disponível em < [http://www.explicatorium.com/quimica/Planeta\\_Mercurio.php](http://www.explicatorium.com/quimica/Planeta_Mercurio.php) > Acesso em dez.2015.

### B.8.2. Vênus



**Figura B.7:** Vênus.<sup>9</sup>

Vênus, é o terceiro corpo celeste mais brilhante visto aqui na Terra, perdendo apenas para o Sol e a Lua. Como já foi dito, é o planeta mais quente do Sistema Solar. Isso ocorre porque sua atmosfera é densa e composta por dióxido de carbono ( $CO_2$ ), gerando no planeta um efeito estufa muito mais intenso que o da Terra. Sua temperatura pode chegar à 460 °C, suficiente para derreter chumbo. Vênus é quase do mesmo tamanho que a Terra. Ele e Mercúrio são os únicos planetas do nosso sistema que não possuem luas.

---

<sup>9</sup> Disponível em < [https://pt.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9nus\\_\(planeta\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9nus_(planeta))> Acesso em dez.2015.

### B.8.3. Terra



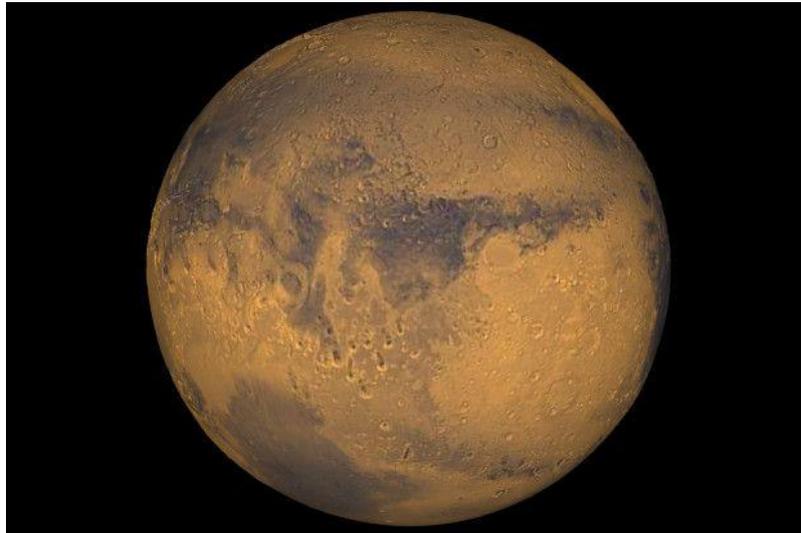
**Figura B.8:** Terra.<sup>10</sup>

O nosso planeta, o quinto maior do Sistema Solar (seu raio mede aproximadamente 6.400 km), é até o momento, o único que se sabe possuir vida. Isso ocorre principalmente por dois fatores: a existência de água líquida e de oxigênio gasoso (que compõem 21% da nossa atmosfera), ambos essências para a vida, apesar do fato de existirem diversos organismos mais simples que vivem sob condições extremas. Cerca de 71% de sua superfície é coberta por água. O interior do nosso planeta é formado por um núcleo sólido de níquel e ferro. Sua temperatura pode chegar a 7200 °C, mais quente que a própria superfície do Sol (a superfície do Sol atinge cerca de 5500 °C, porém no núcleo a temperatura pode chegar até a 15.000.000 °C). A Terra também possui outra peculiaridade, sua lua é a maior em comparação com o planeta que ela orbita. Por pouco o sistema Terra – Lua não é um sistema binário.

---

<sup>10</sup> Disponível em < <http://planeta-terra.info/>> Acesso em dez.2015.

#### B.8.4. Marte



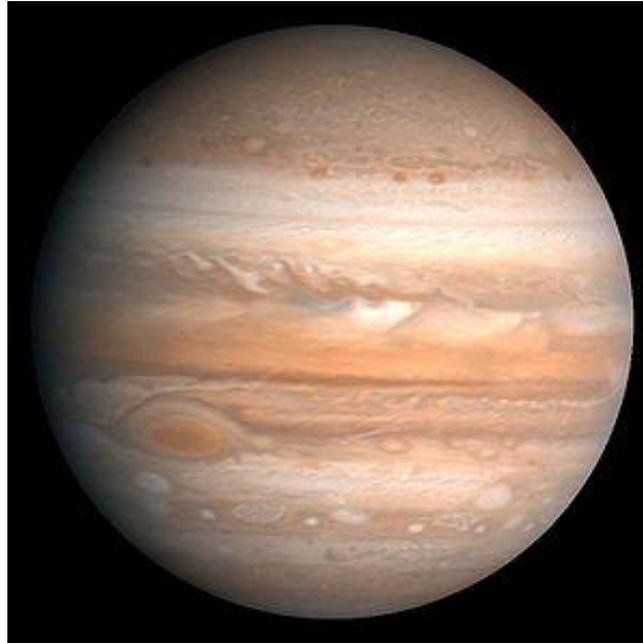
**Figura B.9:** Marte.<sup>11</sup>

Marte é o segundo menor planeta do nosso sistema, sendo aproximadamente duas vezes maior que Mercúrio. Ele é comumente chamado de planeta vermelho, mas isso não se deve a sua temperatura. Apesar de possuir uma atmosfera também composta essencialmente de dióxido de carbono, ela é uma camada fina. As temperaturas de Marte podem variar de -120 °C à 20 °C. Sua coloração se deve às substâncias que compõem suas rochas. Em Marte estão as maiores montanhas e depressões do Sistema Solar. Lá se encontra o Monte Olympus, a maior montanha do Sistema Solar, com 27.000 m de altitude. Neste planeta também se encontra o Valles Marineris, um sistema de Canyons de 4.000 km de comprimento e profundidade que varia de 2 à 7 km. Marte possui duas luas, Fobos e Deimos.

---

<sup>11</sup> Disponível em < [http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/09/150928\\_marte\\_descobertas\\_cc](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/09/150928_marte_descobertas_cc) > Acesso em dez.2015.

### B.8.5. Júpiter



**Figura B.10:** Júpiter.<sup>12</sup>

Júpiter é o maior planeta do Sistema Solar. Ele é tão grande que nessa mancha perto da metade equatorial do planeta (ver figura acima) cabem quatro planetas Terra. Sua massa equivale a 318 vezes a massa da Terra, essa quantidade é maior do que duas vezes a massa de todos os outros planetas juntos. Por essa incrível massa, o campo gravitacional de Júpiter atrai diversos corpos menores do nosso sistema, tendo ele mais de sessenta luas, e muitas outras ainda podem ser encontradas. Júpiter possui também um intenso campo magnético, que gera constantes auroras (boreais e austrais) em seus pólos. Além disso, Júpiter também possui anéis, como todos os planetas gasosos do nosso sistema, porém eles são extremamente pequenos sendo difícil sua visualização mesmo com poderosos telescópios. Júpiter é composto basicamente por cerca de 90% de hidrogênio e 10% de hélio. Acima de seu núcleo, que acredita-se ser rochoso e equivalente a 15 vezes a massa da Terra, encontra-se o hidrogênio metálico líquido. Esse elemento é encontrado nessa forma somente a pressões superiores a 4 000 000 de atmosferas.

---

<sup>12</sup> Disponível em < [https://pt.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter\\_\(planeta\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter_(planeta)) > Acesso em dez.2015.

### B.8.6. Saturno



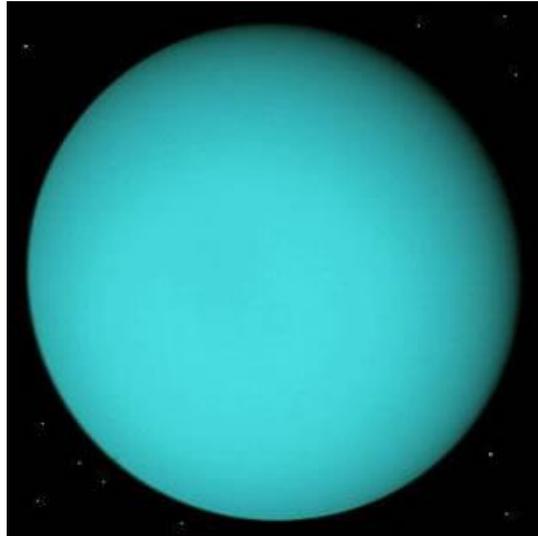
**Figura B.11:** Saturno.<sup>13</sup>

Saturno é o “Senhor dos Anéis” do Sistema Solar, sendo o único que possui anéis visíveis aqui da Terra (através de telescópios). Esses anéis são compostos basicamente de gelo e, apesar de seus diâmetros poderem chegar a 250.000 km, sua espessura não passa de 200 m. E apesar de parecerem contínuos, eles são formados por vários pedaços de diferentes tamanhos. Se os anéis fossem condensados num único corpo, este não teria mais que 100 km de raio. Como Júpiter, Saturno é composto basicamente por hidrogênio (cerca de 74%) e hélio (cerca de 25%). Ele é o segundo maior planeta do Sistema Solar.

---

<sup>13</sup> Disponível em < <http://astro.if.ufrgs.br/solar/saturn.htm> > Acesso em dez.2015.

### *B.8.7. Urano*



**Figura B.12:** Urano.<sup>14</sup>

Urano, sendo o sétimo planeta mais próximo do Sol, não é visível à olho nu daqui da Terra, sendo necessário um telescópio para visualizá-lo. Curiosamente, a rotação do Planeta se dá em torno de um eixo quase paralelo ao plano de sua órbita, diferente dos demais, cujo eixo de rotação é praticamente perpendicular ao plano da órbita. A cor azulada do planeta se deve ao metano em sua atmosfera, que absorve a luz vermelha.

### *B.8.8. Netuno*



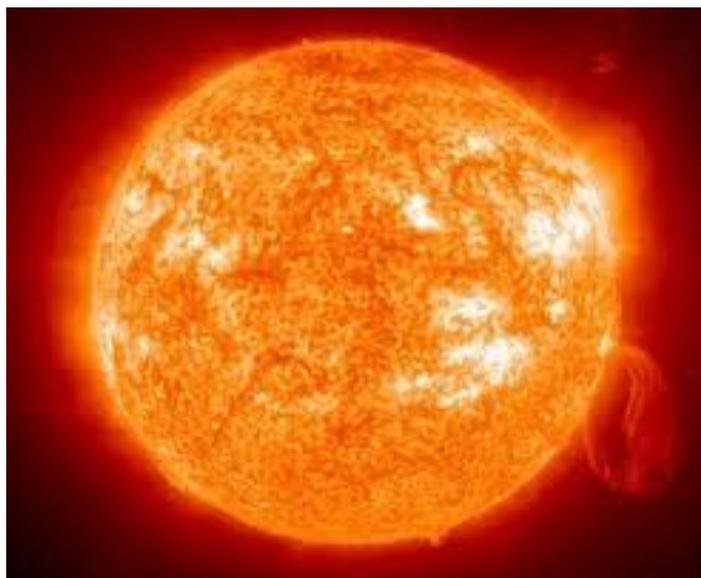
**Figura B.13:** Netuno.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Disponível em < <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/urano-2.htm> > Acesso em dez.2015.

Netuno, que também possui coloração azulada pelos mesmos motivos que Urano, possui os mais rápidos ventos entre os planetas do nosso sistema. Por ser um planeta gasoso, há constantes tempestades nele, com ventos que chegam a 2000 km/h.

## B.9 Estrelas



**Figura B.14:** Sol.<sup>15</sup>

Estrelas são corpos que sempre chamaram a atenção do homem e há diversos motivos para isso. Elas representam a maior quantidade de matéria entre os corpos celestes (considerando nosso Sistema Solar, por exemplo, a massa do Sol compõe aproximadamente 99% da massa total do sistema). São maiores e os únicos corpos que emitem luz própria (os demais astros apenas refletem a luz das estrelas), o que as torna muito mais visíveis do que os demais corpos celestes.

Para começar a entender o que é uma estrela, devemos nos perguntar do que ela é feita. Apesar de ser tão distinta dos demais astros, a única diferença (ou, pelo menos, o

---

<sup>15</sup> Disponível em < <http://www.megacurioso.com.br/universo/55533-conheca-alguns-fatos-e-curiosidades-sobre-o-planeta-netuno.htm> > Acesso em dez.2015.

<sup>16</sup> Disponível em <[http://www.rankbrasil.com.br/Recordes/Materias/06.n/Estrela\\_Mais\\_Proxima\\_Da\\_Terra](http://www.rankbrasil.com.br/Recordes/Materias/06.n/Estrela_Mais_Proxima_Da_Terra)> Acesso em dez.2015.

que causa todas as demais diferenças) entre uma estrela e os demais corpos celestes é a sua massa. Todo o nosso universo é composto, num nível mais fundamental, de átomos, e as estrelas não são exceção dessa regra. O nosso Sol, por exemplo, é composto (em sua maior parte) de hidrogênio (quase 75%) e hélio (quase 25%). Se elas são compostas das mesmas substâncias mais elementares que o restante dos astros, de onde vêm essa diferença com os demais? Por que, por exemplo, elas são os únicos corpos celestes que emitem luz própria? Elas o fazem em função de sua temperatura. Todo corpo emite radiação eletromagnética, e a radiação emitida depende da temperatura deste corpo. O corpo humano, por exemplo, que se encontra à aproximadamente 37 °C, emite radiação infravermelha. Essa é uma radiação que os nossos olhos não conseguem enxergar, mas há equipamentos que conseguem detectar essa radiação. As chamadas câmeras de vigia noturnas são equipamentos que detectam essa radiação, conseguindo visualizar pessoas mesmo que não haja luz. Na verdade, é daí que vêm a expressão infravermelho, pois ela é uma “cor” abaixo da cor vermelha em termos de frequência, sendo o vermelho a cor de menor frequência que o olho humano consegue captar. A frequência da luz está associada à sua energia, assim, o vermelho, cuja frequência é maior que o infravermelho possui também mais energia que essa radiação invisível para nós. Assim, quando aumentamos a temperatura de um corpo, ele passa a emitir uma radiação de maior energia. Esse é o motivo do ferro em brasa emitir um brilho rubro. Se continuarmos a aquecer um corpo que brilha em vermelho, ele mudará de tom gradualmente para o laranja, o amarelo, o branco e por fim para o azul. Esse também é o princípio da lâmpada incandescente, que possui um filamento em seu interior (um resistor) que é aquecido de tal forma que ele emita luz (geralmente de cor amarela). Por isso mesmo ela é uma das menos econômicas, pois grande parte da energia elétrica que ela consome é perdida na forma de calor, sendo apenas uma parcela dela convertida em energia luminosa. Outras lâmpadas como a fluorescente e as lâmpadas de Led emitem luz através do “salto” dos elétrons de um nível atômico mais baixo para um mais alto e do seu posterior retorno aos níveis inferiores (a luz é emitida “na volta”), consumindo menos energia elétrica para iluminar os ambientes.

Assim, as estrelas brilham porque possuem um valor de temperatura que as façam emitir radiação visível para nós. Esse conhecimento é usado para estimar a idade de uma estrela. Se uma estrela é jovem, cheia de “combustível” para queimar (essa frase

fará sentido mais adiante), ela emitirá luz azul. Conforme ela vai envelhecendo, sua energia diminui, fazendo com que seu brilho mude de cor na ordem inversa da dita anteriormente (do azul para o branco, depois para o amarelo, o laranja e por fim o vermelho). Nosso Sol, por exemplo, é amarelo, o que indica que ele está aproximadamente na metade de sua vida. Como uma estrela dura tipicamente dez bilhões de anos, o Sol deve ter algo em torno de cinco bilhões. Até esse ponto você deve estar se perguntando por que as estrelas possuem a temperatura mais elevada que os demais astros. A resposta para essa pergunta já foi fornecida no início do parágrafo anterior: Devido sua massa. Todo corpo que possui massa “gera” um campo gravitacional. Quanto maior a massa de um corpo, maior o campo gravitacional associado a ele. As estrelas são extremamente massivas????, tanto que todos os corpos menores que se aproximam dela são presos em seu campo gravitacional. Por isso formam-se os sistemas planetários como o nosso Sistema solar, na qual uma infinidade de corpos “pequenos” orbitam uma estrela. Os campos gravitacionais das estrelas são tão intensos que, num certo sentido, elas colapsam sobre elas mesmas. Seus átomos são forçados uns contra os outros de forma tão intensa que sofrem um processo denominado fusão nuclear, na qual seus átomos se fundem, formando átomos mais pesados, e liberando enorme quantidade de energia térmica durante o processo. No caso do Sol, os átomos de hidrogênio se fundem em átomos de hélio. Uma estrela está, portanto, em constante explosão. Essas explosões elevam tanto sua temperatura que elas se encontram no quarto estado da matéria (além do sólido, líquido e gasoso), o plasma. A diferença básica entre o gás e o plasma é o fato de o plasma estar ionizado, o que o torna suscetíveis a campos elétricos e magnéticos. No nosso dia a dia estamos mais acostumados com o plasma em certas tecnologias como a lâmpada de plasma e a TV com tela de plasma. Elas não estão nesse estado pela sua temperatura, mas sim pelo fato de terem sido ionizadas através de uma corrente elétrica. Apesar de ser o menos conhecido, o plasma é o estado mais abundante no universo, já que as estrelas, como já foi dito, compõem a maior quantidade de matéria entre todos os astros.

## **B.10. Tamanhos, distâncias e tempos em escala astronômica**

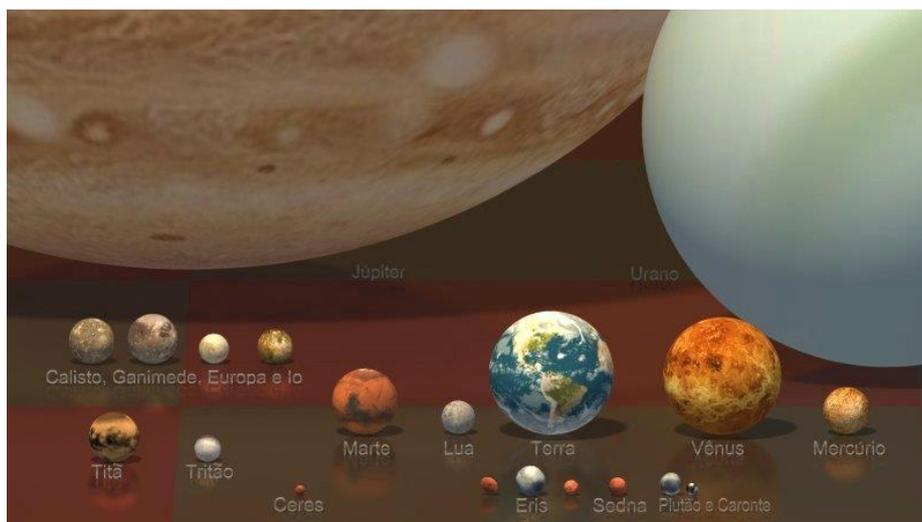
Talvez você tenha reparado que praticamente toda vez que as palavras grande ou pequeno tenham sido usadas neste texto, elas estavam entre aspas. O mesmo acontece com alguns termos que indicam duração temporais curtas ou longas. Isso ocorre pois, ao tratarmos de assuntos relacionados à Astronomia, lidamos com uma escala totalmente diferente da nossa. No texto sobre cometas, por exemplo, foi dito que eles possuem vida curta, podendo durar algumas centenas de milhares de anos. Para nós esse tempo não é nem perto de ser considerado pequeno, porém, logo após isso foi dito que as estrelas duram aproximadamente dez bilhões de anos. Em comparação a esse valor, podemos dizer que a vida de um cometa é de fato curta. Por tratar de números incrivelmente grandes, a escala astronômica pode confundir muitos leitores principiantes, já que mesmo as menores medidas nessa escala costuma ser tão grandes que perdemos a noção da comparação. O mesmo ocorre com as medidas de distância. Mercúrio está a incríveis cinquenta e sete milhões e novecentos e dez mil quilômetros do Sol. Esse valor pode parecer extenso para nós, mas ele é o planeta mais próximo do Sol de todo o Sistema Solar. Se compararmos esse valor com a distância de Saturno ao Sol (um bilhão, quatrocentos e vinte e nove milhões e quatrocentos mil quilômetros), por exemplo, ela já não parece grande coisa. Imagine então se compararmos com a distância do Sol à outra estrela, como por exemplo, a estrela Alfa centauro, que dista inimagináveis quarenta e um trilhões de quilômetros da nossa estrela. E o mesmo pode ser dito do tamanho dos corpos celestes. Por isso, os astrônomos costumam usar unidades de medida adequada a esses valores. Uma unidade bastante utilizada é o ano-luz, que, apesar do nome, é uma unidade de distância, correspondendo ao tempo que a luz se propaga em um ano, e equivalente a nove trilhões, quatrocentos e sessenta e um bilhões de quilômetros. Outra unidade bastante utilizada é o megaparsec, que vale três milhões, duzentos e sessenta e dois mil anos-luz.

Para termos uma noção mais clara dessas incríveis dimensões do nosso Sistema solar, vamos fazer três comparações de medidas astronômicas comparando-as com

medidas do nosso dia a dia. Faremos uma comparação com medidas de tamanhos, uma com medidas de distância e uma com medidas de tempo.

### *B.10.1. Tamanho*

Os corpos do Sistema Solar possuem uma incrível variedade de tamanhos. Enquanto há astros de algumas centenas de quilômetros de diâmetro, há outros com milhares de quilômetros, com a nossa estrela medindo mais de um milhão de quilômetros. Com essas medidas fica difícil termos uma noção clara da diferenças entre esses tamanhos. Diversas imagens são encontradas em livros ou em sites com comparações entre os corpos do Sistema Solar. Qualquer um (desde que se trate de uma fonte confiável) é válido para que se tenha a noção dessa diferença. A imagem abaixo foi extraída do site da USP (Universidade de São Paulo).



**Figura B.15:** Comparação entre o tamanho dos planetas do Sistema Solar em escala.<sup>17</sup>

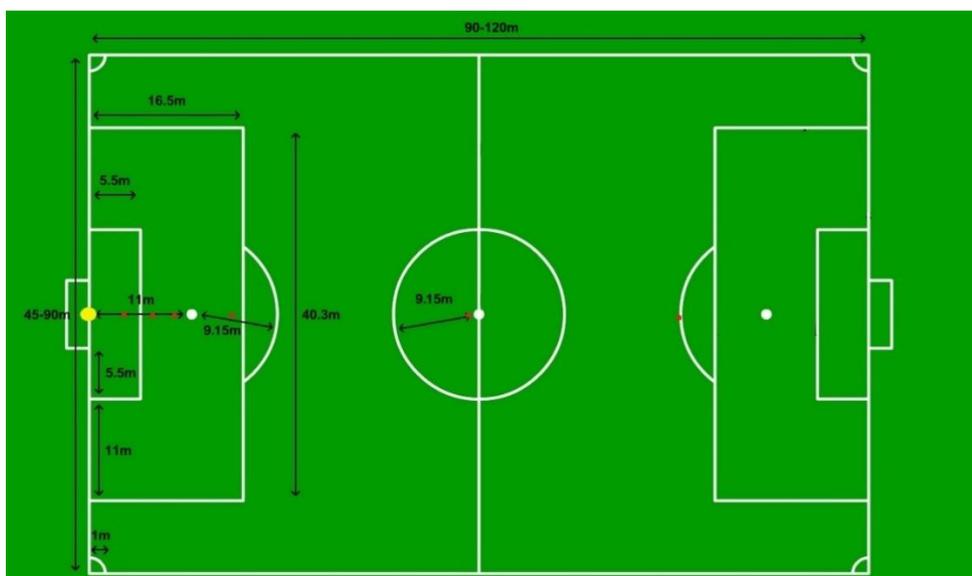
Na página em questão outras imagens em escalas diferentes são feitas para que se veja também astros maiores como o Sol e outras estrelas, mas quando isso é feito, os astros menores acabam “sumindo” em comparação aos demais. Há também vídeos que

<sup>17</sup> Disponível em < <http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/PlanetasEstrelas/>> Acesso em dez.2015.

mostram essa comparação entre os tamanhos<sup>18</sup>. Mas uma vez, não é muito relevante a escolha do vídeo desde que a fonte seja confiável.

### B.10.2. Distância

Também não é difícil encontrar comparações entre as distâncias dos planetas do Sistema Solar. Entretanto, não é muito comum imagens comparativas considerando que, quando analisamos em ordem crescente de proximidade com o Sol, as distâncias crescem tão rapidamente que fica difícil ter todas em uma só imagem. Para tentar dar uma noção dessas diferenças, foi feita uma imagem comparativa bem simples, mas que já nos fornece uma ideia das medidas reais. Para construí-la, as distâncias dos planetas (consultadas no site da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica - OBA<sup>19</sup>) foram submetidos a uma escala que ficassem “boas” visualmente em um campo de futebol (o mesmo foi escolhido considerando a grande popularidade do esporte). Para isso, a escala escolhida foi tal que um milhão de quilômetros equivaleriam a aproximadamente setenta e dois milímetros (na verdade a escala foi 1.000.000 km - 0,0724 m). Depois de convertidos os valores, pontos correspondentes aos planetas foram plotados numa imagem que representa um campo de futebol de forma que o Sol estivesse na linha de um dos gols. A imagem resultante encontra-se na figura abaixo.



<sup>18</sup> Um exemplo de vídeo pode ser encontrado em <<https://www.youtube.com/watch?v=HEeh1BH34Q>> Acesso em jan.2016.

<sup>19</sup> Disponível em < <http://www.oba.org.br/cursos/astronomia/tabelacomasdistanciasmedias.htm> > Acesso em out.2015

**figura B.16:** Comparação entre a distância dos planetas do Sistema Solar em escala.

O importante nessa imagem é a distância horizontal. Como um campo de futebol oficial tem suas distâncias variáveis como indicado na figura (no caso do comprimento do campo, ele varia de noventa a cento e vinte metros), foi escolhido um campo de cento e vinte metros de comprimento. Repare que o Sol está na linha do gol do lado esquerdo da figura. Da esquerda para a direita foram dispostos os planetas do Sistema Solar em ordem crescente de distância. Assim, Mercúrio é o ponto dentro da pequena área, Vênus, e depois a Terra estão à esquerda da marca do pênalti, Marte é o último planeta dentro da grande área, Júpiter está quase no meio do campo, Saturno está na fronteira da outra área e os outros dois planetas sequer couberam no campo. Caso houvesse outro campo colado a este (e à sua direita), Urano estaria pouco depois da metade deste campo, e caso houvesse um terceiro, Netuno estaria próximo da área da direita deste terceiro campo. Repare como é difícil construir uma só imagem contendo todas as distâncias já que, se reduzirmos elas escolhendo outra escala, os primeiros planetas ficaram praticamente indistinguíveis.

### *B.10.3. Tempo*

Assim como no caso dos tamanhos e das distâncias, os intervalos de tempo em escalas astronômicas tendem a nos confundir. Os números são tão grandiosos que dificilmente temos uma noção clara do que eles representam. Como já dissemos, um cometa deve durar algumas centenas de milhares de anos. Este passar de tempo é tão inimaginável para nós que mesmo comparações com outros números nessa escala acabam perdendo um pouco de significado. Por exemplo, também foi dito que uma estrela dura tipicamente dez bilhões de anos. Sabemos então que uma estrela dura muito mais que um cometa, mas quão grande é essa diferença? Se nós fossemos uma estrela, o quão rápido nos pareceria o passar da vida de um cometa? Nossa noção temporal depende do nosso ponto de vista ainda mais do que a noção espacial. Se dissermos a uma criança de dez anos que ele terá de esperar cinco anos para que tenha algo que ele quer, esse tempo parecerá uma eternidade para ela. Se dissermos a mesma coisa para um adolescente de quinze anos, este tempo, embora igualmente longo, parecerá menor, em certo sentido, do que pareceu para a criança. Se o mesmo for dito para um adulto de

quarenta anos, menos significativa ainda será essa duração, e assim por diante. Buscando uma comparação clara sobre os tempos na escala astronômica, descreveremos abaixo uma comparação feita em por Waga<sup>20</sup>. Ela é análoga ao que as pessoas costumam fazer para descrevermos a idade dos cachorros. Como eles duram tipicamente muito menos do que a nossa espécie, diz-se que cada ano de vida deles equivalem a seis anos nossos. Assim, uma cachorrinha de três anos equivale a uma jovem de dezoito, e uma de dezesseis anos equivale a uma senhora de noventa e seis.

Seguindo a comparação de Waga, imagine que a Terra, cuja estimativa de vida atinge quatro bilhões e meio de anos, seja uma mulher de quarenta e cinco anos. Sendo esse o caso, as primeiras formas de vida em nosso planeta teriam surgido há trinta e cinco anos atrás (ou seja, quando a Terra tinha dez anos), a vida nos oceanos era abundante apenas há seis anos, as plantas e os animais habitaram a terra há quatro anos, os dinossauros atingiram seu ápice há um ano e desapareceram há quatro meses, os primeiros humanóides apareceram há uma semana, a nossa espécie (*homo sapiens*) surgiu há quatro horas, a agricultura foi inventada há uma hora e os portugueses chegaram pela primeira vez no Brasil há três minutos. Segue abaixo uma tabela com a comparação entre os valores reais (aproximados) e comparativos dos acontecimentos descritos.

Acontecimento	Há quanto tempo ocorreu Valor real (em anos)	Há quanto tempo ocorreu Valor comparativo
O planeta Terra “nasceu”	4.500.000.000	45 anos
Surgiram as primeiras formas de vida	3.500.000.000	35 anos
A vida nos oceanos é abundante	600.000.000	6 anos
Plantas e animais habitam a terra	400.000.000	4 anos
Os dinossauros atingem seu ápice	100.000.000	1 ano
Os dinossauros são extintos	33.333.333	4 meses
Surgiram os primeiros	2.083.333	1 semana

<sup>20</sup> Colóquio apresentado em 2015, no Instituto de Física da UFRJ, pelo prof. Ioav Waga, “100 anos de cosmologia, panorama atual e desafios”. Comunicação privada.

humanoides		
Surgiu a nossa espécie (o homo sapiens)	49.603	4 horas
A agricultura foi inventada	12.401	1 hora
Os portugueses chegaram ao Brasil	516	3 minutos

**Figura B.17:** Comparação entre o decorrer do tempo na escala astronômica com a de uma pessoa de 45 anos.

### **B.11. A questão do investimento na pesquisa espacial**

Em 25 de março de 2015 foi publicada uma matéria no site do G1 acerca de uma missão espacial da N.A.S.A., agência espacial norte americana, planejada para dezembro de 2020<sup>21</sup>. A missão consistiria na extração, feita por uma nave-robô, de um grande bloco rochoso e o seu envio para a Lua (de forma que ele fique em órbita ao redor dela). O objetivo básico é que essa rocha se transforme em um destino de treinamento para futuras missões à Marte. O custo estimado da missão é de 1,25 bilhão de dólares, não incluindo gastos com o lançamento.

Notícias como essa costumam ser recebidas com muitos comentários que depreciam os gastos na pesquisa espacial, com argumentos que se baseiam na premissa de que a pesquisa espacial não tem retorno. Os comentários mais drásticos (e também os mais vazios) costuma ser do tipo “e tanta gente passando fome no mundo”. Antes mesmo de defender a pesquisa espacial, vamos nos lembrar que há gastos exorbitantes muito menos nobres que a pesquisa científica, em qualquer gênero que seja. Um exemplo disso são as despesas em armamentos, que segundo dados do Stockholm International Peace Research Institute<sup>22</sup>, no ano de 2008 somaram 970 bilhões de dólares nos E.U.A.. Embora esse valor seja para as despesas militares em geral, o que não se resume a gastos em armamentos, essa é uma quantia que bancaria 776 projetos do mesmo porte que o da missão citada. Além disso, é um erro achar que as pesquisas espaciais não tem retorno para a sociedade como um todo. Embora muitas vezes propagandas do gênero sejam ouvidas com desconfiança, muitos produtos são anunciados com a seguinte frases “desenvolvido com tecnologia da N.A.S.A.”. Um

<sup>21</sup> Disponível em <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2015/03/nasa-vai-usar-bloco-extraido-de-asteroide-para-treinar-missoes-a-marte.html>> Acesso em mar.2016.

<sup>22</sup> Disponível em <<http://www.sipri.org/yearbook/2009/05/05A>> Acesso em out.2015.

exemplo disso são certos tipos de travesseiros. Embora os céticos possam se perguntar “por que a N.A.S.A. quer desenvolver linhas de travesseiros?”, a agência espacial norte americana de fato contribui para o desenvolvimento (ou o aperfeiçoamento) de diversos produtos de nosso cotidiano. Isso não quer dizer que ela queira especificamente fabricar travesseiros melhores, mas que sua tecnologia foi usada para tanto por alguma empresa. Isso é possível pois a N.A.S.A., desde a década de 70 divulga suas descobertas científicas como uma forma de colaborar para o progresso da humanidade, de forma a justificar o financiamento em seus projetos. O Jornal “Spinoff” da N.A.S.A. destaca os produtos ligados à sua pesquisa. De fato, a N.A.S.A. já registrou mais de 6300 patentes com o governo americano. No caso do travesseiro, então, a N.A.S.A. poderia ter feito avanços na fabricação de um produto resistente e confortável para, por exemplo, desenvolver o tecido do banco na qual o astronauta senta e encosta durante a decolagem. Embora isso tenha sido desenvolvido especificamente para uma missão espacial, a divulgação de sua pesquisa permite que uma empresa especializada em desenvolver linhas de travesseiros utilize esse material para desenvolver uma linha especial (daí o termo “feito com tecnologia da N.A.S.A.”). O site da UOL listou em 21/05/2014 alguns produtos que foram criados (ou aperfeiçoados) por causa das pesquisas feitas pela agência espacial norte americana<sup>23</sup>. Entre eles estão a câmera de celular, a “papinha” dos bebês, o travesseiro, os uniformes resistentes às chamas e ao calor usados pelos bombeiros, o termômetro, as comunicações via satélites, o filtro de água, o aspirador de pó e o aparelho ortodôntico. A própria notícia do G1 sobre a missão espacial continha um exemplo de aplicação benéfico do programa: Durante a missão, serão feitos estudos sobre as possibilidades de alterar a rota de asteroides. A reportagem lembra que há aproximadamente 65 milhões de anos um asteroide gigante colidiu com o nosso planeta gerando drásticas mudanças climáticas que causaram a extinção dos dinossauros e da maioria da vida na Terra na época. Lembremos também do episódio dos 33 mineiros soterrados na mina de San José, no Chile, em 2010. O resgate dos mesmos foi feito com a capsula Fênix II, projetado pela N.A.S.A.

---

<sup>23</sup> Fonte: Nasa Scientific and Technical Information  
Disponível em < <http://ciencia.hsw.uol.com.br/10-tecnologias-nasa.htm> > Acesso em out. 2015.