

Introdução à Astronomia

Sérgio Mascarello Bisch

ne@ad

Universidade Aberta do Brasil
Universidade Federal do Espírito Santo

Física
Licenciatura



A Astronomia é a mais antiga das ciências e, ao mesmo tempo, uma das mais atuais e desafiadoras, despertando fascínio, curiosidade e interesse dos estudantes e público em geral. Isso faz com que ela seja uma excelente porta de entrada para uma iniciação à Ciência, encerrando um enorme potencial didático-pedagógico. Contudo, fazer uma boa exploração desse potencial não é algo trivial, exigindo do professor um domínio de conteúdos, que também não são triviais, e de estratégias e metodologias de ensino adequadas a uma introdução a essa fascinante ciência.

O presente texto visa dar subsídios nesse sentido, abordando dois dos grandes temas básicos da Astronomia, ligados às suas origens: o estudo dos movimentos dos astros, quando observados da superfície da Terra, e do Sistema Solar, sua estrutura e composição. A apresentação do conteúdo é acompanhada da indicação da utilização de TICs no ensino e segue uma estratégia que usa como fio condutor uma exploração gradual do espaço, a partir de nosso lar – a espaçonave Terra.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Núcleo de Educação Aberta e a Distância

Introdução à Astronomia

Sérgio Mascarello Bisch

Vitória
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Presidente da República

Dilma Rousseff

Ministro da Educação

Aloizio Mercadante

Diretoria de Educação a Distância DED/CAPES/MEC

João Carlos Teatini de Souza Climaco

Reitor

Reinaldo Centoducatte

Diretora Geral do Núcleo de Educação Aberta e a Distância - ne@ad

Maria Aparecida Santos Corrêa Barreto

Coordenadora UAB da UFES

Teresa Cristina Janes Carneiro

Coordenadora Adjunta UAB da UFES

Maria José Campos Rodrigues

Diretora Administrativa do ne@ad

Maria José Campos Rodrigues

Diretor Pedagógico do ne@ad

Júlio Francelino Ferreira Filho

Diretor do Centro de Ciências Exatas

Armando Biondo Filho

Coordenador do Curso de Graduação Licenciatura em Física - EAD/UFES

Marcos Tadeu D'Azeredo Orlando

Revisor de Conteúdo

Carlos Augusto Cardoso Passos

Design Gráfico

LDI - Laboratório de Design Instrucional

ne@ad

Av. Fernando Ferrari, n. 514 -

CEP 29075-910, Goiabeiras

Vitória - ES

(27) 4009-2208

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Laboratório de Design Instrucional

LDI coordenação

Heliana Pacheco

José Octavio Lobo Name

Letícia Pedruzzi

Ricardo Esteves

Gerência

Daniel Dutra

Editoração

Heinrich Kohler

Capa

Heinrich Kohler

Impressão

Gráfica e Editora Liceu

Bischoff, Sérgio Mascarello.

B621i Introdução à astronomia / Sérgio Mascarello Bischoff. - Vitória : UFES,
Núcleo de Educação Aberta e a Distância, 2012.
112 p. : il. ; 28 cm

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-60312-65-8

11. Astronomia. I. Título.

CDU: 52



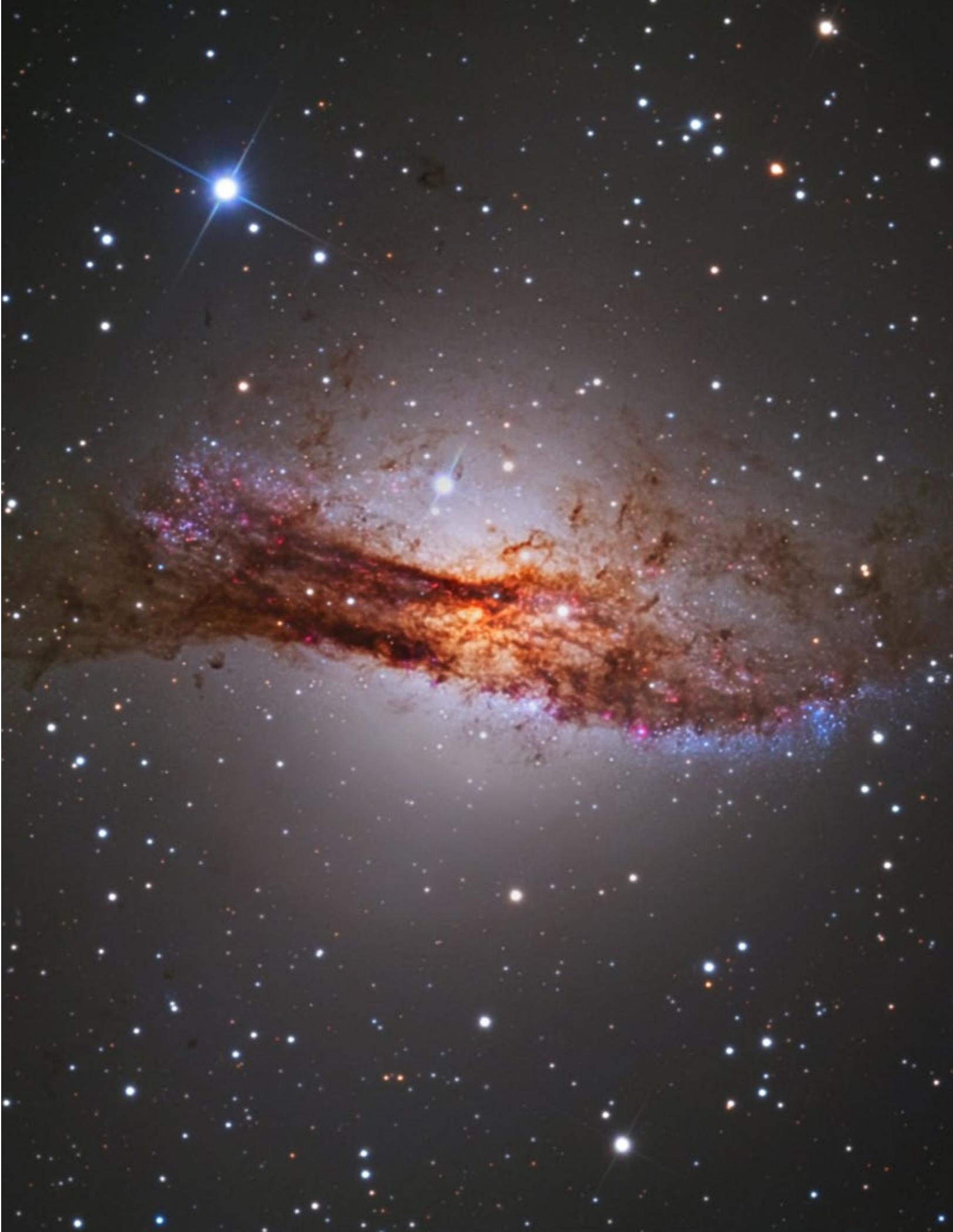
Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir deste trabalho para fins não comerciais, desde que atribuem ao autor o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

A reprodução de imagens nesta obra tem caráter pedagógico e científico, amparada pelos limites do direito de autor, de acordo com a lei nº 9.610/1998, art. 46, III (citação em livros, jornais, revistas ou qualquer outro meio de comunicação, de passagens de qualquer obra, para fins de estudo, crítica ou polêmica, na medida justificada para o fim a atingir, indicando-se o nome do autor e a origem da obra). Toda reprodução foi realizada com amparo legal do regime geral de direito de autor no Brasil.

ÍNDICE

Introdução	6
Capítulo I: Os Movimentos dos Astros e a Astronomia de Posição	8
1.1 Movimentos dos astros: qual a sua importância?	9
1.2 Localização dos Astros no Céu: a Astronomia de Posição e a Esfera Celeste	12
1.2.1 A Esfera Celeste e as Constelações	13
1.2.1.1 As Origens	13
1.2.1.2 As estrelas de fato são fixas?	16
1.2.1.3 Os conceitos atuais de esfera celeste e constelação	19
1.2.2 Sistemas de referência	24
1.2.2.1 O Referencial Horizontal Local	24
1.2.2.2 O Referencial Equatorial	26
1.3 Os movimentos dos astros quando observados da Terra	27
1.3.1 Instalando e inicializando o <i>Stellarium</i>	28
1.3.2 Movimento das estrelas	31
1.3.3 O Céu em diferentes locais	34
1.3.4 Movimentos do Sol	37
1.3.5 Movimentos da Lua	42
1.3.6 Movimentos dos planetas	46
1.4 Atividades Complementares	55
1.4.1 Atividades propostas no capítulo 2 do livro “O Céu”	55
1.4.2 Oficinas de Astronomia	56
1.4.3 Eclipses: mais uma atividade com o <i>Stellarium</i>	57
1.4.3.1 Geometria dos eclipses	57
1.4.3.2 A visibilidade dos eclipses	59
1.4.3.3 Aspecto da Lua durante um eclipse.	60
1.5 Questões	68
Capítulo II: O Sistema Solar	73
2.1 O que é o sistema solar?	74
2.2 Como são classificados os astros do sistema solar?	77

2.3 De que são feitos os astros do sistema solar? -----	81
2.4 O Sol -----	83
2.5 O Sistema Solar Interior -----	86
2.5.1 Os Planetas Terrestres -----	86
2.5.2 Os Asteróides -----	87
2.5.3 O sistema solar interior e a formação do sistema solar -----	89
2.5.4 A Terra e a Lua: uma comparação -----	91
2.6 O sistema Solar Exterior -----	94
2.6.1 Os planetas gigantes -----	95
2.6.2. Cometas -----	97
2.6.3 Centauros -----	100
2.7 Região Transnetuniana -----	102
2.7.1. Cinturão de Kuiper -----	103
2.7.2. Disco Disperso -----	103
2.7.3 A Nuvem de Oort -----	104
2.7.4 Sedna -----	105
2.8 Atividades Complementares -----	107
2.8.1 Montagem de um sistema solar em escala. -----	107
2.8.2 Uso do softwares para exploração do sistema solar -----	107
Referências -----	108



INTRODUÇÃO

É notório o fascínio e curiosidade que a Astronomia costuma despertar entre os estudantes e junto ao público, de uma forma geral. Esse fato, por um lado, pode tornar o seu ensino altamente estimulante e motivador, fazendo com que a Astronomia seja uma excelente porta de entrada para uma iniciação à Ciência. Por outro lado, também coloca o professor frente a um grande desafio: a Astronomia é uma área vasta e muito dinâmica, está na fronteira do conhecimento, apresenta avanços e novidades que se sucedem a cada dia, muitas delas noticiadas pela grande mídia, causando grande curiosidade junto aos estudantes e público em geral, e mesmo fenômenos astronômicos mais básicos, como as estações do ano, ou os movimentos aparentes dos astros quando observados da superfície da Terra, não apresentam explicações triviais, ao contrário, em geral envolvem um raciocínio espacial e físico mais elaborado. Estaria o professor da Educação Básica preparado, com um razoável domínio de conteúdos dessa área, para aproveitar o grande potencial didático-pedagógico da Astronomia e atender à demanda de curiosidade e interesse por ela despertado? Infelizmente, em geral, a resposta a esta pergunta é negativa. Via de regra, em nosso país, o professor não passou por uma formação inicial adequada e não tem o domínio de conteúdos básicos nessa área. É importante lembrar, também, que a grande referência em se tratando de Astronomia e esclarecimento de dúvidas a ela relacionadas, numa escola da Educação Básica, é o professor de Física, uma vez que as duas ciências tem estreita relação e a compreensão dos fenômenos astronômicos ocorre, invariavelmente, mediante aplicações de leis e princípios físicos. Esse fato reforça a responsabilidade do licenciado em Física, quando o assunto é o ensino de Astronomia na Educação Básica.

As considerações acima já constituem uma boa justificativa para a presença da disciplina “Introdução à Astronomia” no currículo do curso de Licenciatura em Física a Distância da UFES, mas há outras, como a tradicional presença do tópico “Gravitação” no currículo de Física do Ensino Médio, que guarda estreitíssima relação com a Astronomia. Como é dito nas “Orientações Curriculares para o Ensino Médio” publicadas pelo MEC: “O estudo da gravitação é uma excelente oportunidade para discutir temas da astronomia em seus aspectos físicos, históricos e filosóficos.” (BRASIL, 2006, p. 56); mais que isso, nessas mesmas “Orientações Curriculares”, que correspondem à orientação oficial de como deve ser conduzido o ensino médio em nosso país, é destacada a importância de adoção, no ensino de Física deste nível, de “... temas estruturadores que articulam competências e conteúdos e apontam para novas práticas pedagógicas.” (BRASIL, 2006, p. 57), sendo que um dos seis temas estruturadores sugeridos é: “Tema 6: Universo, Terra e vida (unidades temáticas: Terra e sistema solar, o universo e sua origem, compreensão humana do universo).” (BRASIL, 2006, p. 57).

Desta forma, percebemos que é extremamente pertinente e adequada a inclusão de uma disciplina de introdução à Astronomia no currículo de cursos de licenciatura em Física, como forma de propiciar ao licenciando uma formação básica que lhe permita um domínio mínimo de conteúdos de Astronomia, e/ou outros conteúdos a ela associados, bem como o uso de boas referências, bibliográficas e da internet, que sirvam como fontes confiáveis e atuais para pesquisas, aprofundamentos de estudos e atualização acerca das novidades e avanços na área – e eles não faltam, pelo contrário: com o avanço das tecnologias de exploração do espaço, tanto baseadas em observatórios situados na superfície da Terra, como em observatórios e telescópios espaciais, novas descobertas, como a de inúmeros planetas extra-solares, vêm se sucedendo num ritmo cada vez mais intenso. .

A intenção da disciplina, e deste texto que a acompanha, é, portanto, contribuir para uma boa formação básica em Astronomia do futuro professor de Física do Ensino Médio, bem como lhe indicar o “caminho das pedras” para o necessário aprofundamento e atualização de conteúdos, ou seja, para uma boa formação contínua – essencial ao seu bom desempenho profissional como professor – mediante o contato e acesso a boas referências, bibliográficas e na internet. Essa orientação é essencial, considerando o excesso de informações ao dispor atualmente, sobretudo na internet.

Ao longo do texto e, sobretudo, ao final do capítulo I são apresentadas diversas questões e sugestões de atividades, algumas delas utilizando o *software* livre *Stellarium*, ou envolvendo a pesquisa ou consulta a alguns dos ótimos *websites* sobre Astronomia disponíveis na *web*. A ênfase no uso destas novas ferramentas é proposital, dada a sua crescente relevância no ensino e a motivação adicional que proporcionam aos jovens estudantes, sem falar na atualidade das informações que podem ser obtidas mediante seu uso. Esperamos que, com estas sugestões, o futuro professor torne-se familiarizado com esses recursos e os utilize com seus próprios alunos.



OS MOVIMENTOS DOS ASTROS E A ASTRONOMIA DE POSIÇÃO

1.1 MOVIMENTOS DOS ASTROS: QUAL A SUA IMPORTÂNCIA?

Um dos fatos mais significantes para nós, humanos, relacionado ao céu e aos astros, é a existência de ciclos e regularidades em seus movimentos. De fato, esses ciclos, como o movimento diário do Sol, nascendo a leste e se pondo a oeste, as estações do ano e as fases da Lua, determinam o próprio ritmo de nossas vidas e dos demais seres vivos na Terra, servindo de base a todos os calendários já inventados pelos diversos povos e culturas.

A busca de explicação para os movimentos dos astros, especialmente, como veremos, dos chamados “astros errantes” – o Sol, a Lua e os cinco planetas visíveis a olho nu: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno – desafiou a inteligência humana durante séculos, consistindo numa das mais importantes e fascinantes páginas da história da Ciência. Ela esteve na raiz da revolução científica ocorrida nos séculos XVI e XVII, quando houve a passagem de uma concepção geocêntrica para uma concepção heliocêntrica de universo, com a Terra deixando de ser encarada como o centro do universo e passando a ser apenas mais um dos planetas, dentre vários, que giram ao redor do Sol. Essa grande mudança de visão ocorreu graças às contribuições de diversos cientistas, como Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, Galileu e Newton.

Após Newton, suas leis gerais do movimento e sua lei da gravitação universal, a descrição e previsão dos movimentos dos astros do sistema solar tornou-se bastante satisfatória. Mais recentemente, no início do século XX, graças à contribuição de Einstein, com sua Teoria da Relatividade, foi possível refinar ainda mais o modelo explicativo dos movimentos dos astros de nosso sistema solar. Uma previsão detalhada e precisa, por exemplo, do movimento de Mercúrio – o mais próximo do Sol e mais rápido dos planetas – tornou-se ainda mais exata¹.

No âmbito de nosso sistema solar, podemos dizer que nossa compreensão atual dos movimentos dos corpos que o compõem, seja por

¹ O movimento de precessão do periélio de Mercúrio, que apresentava desvios com relação ao que era previsto pela Mecânica Clássica, é bem explicado pela Relatividade Geral.

meio da Mecânica Clássica ou, quando necessário, da Relatividade Geral, é muito satisfatória, levando a previsões em excelente acordo com o que é observado, isto é, perfeitamente dentro do limite de precisão das medidas atualmente realizadas.

Entretanto, embora possamos nos orgulhar dessas conquistas, de termos sido capazes de formular, por meio de belas teorias físicas, como a Mecânica Clássica e a Relatividade, modelos que fornecem uma descrição e previsão detalhada e muito precisa dos movimentos dos astros do sistema solar, isso não é o fim. Na verdade é só o começo. Nem tudo está bem explicado com relação ao movimento dos astros. O universo vai muito além do nosso sistema solar... Quando comparado à nossa galáxia, a Via Láctea, o nosso sistema solar é como um minúsculo grão de poeira em meio a uma grande nuvem de pó (nossa galáxia). A estimativa é de que, só na Via Láctea, existam mais de 200 bilhões de estrelas, equivalentes ao nosso Sol, grande parte delas possuindo seus próprios sistemas planetários, conforme já comprovado por pesquisas recentes², e em todo o universo existem centenas de bilhões de galáxias!

Quando passamos a analisar o movimento dos astros em grande escala, nos defrontamos com fatos surpreendentes e ainda sem explicação. De fato, a compreensão do movimento dos astros, e do próprio universo, em grande escala continua a apresentar enormes problemas e desafios. Em verdade, apresenta o que parece ser o maior de todos os desafios da Física atual: explicar o fato de o universo não só estar em expansão, com todas as galáxias mais distantes se afastando umas das outras, mas de a velocidade desta expansão estar aumentando, ou seja, de a expansão ser uma expansão acelerada!

De fato, em 1998, dois grupos de cientistas, trabalhando de maneira independente, analisando a explosão de estrelas supernovas do tipo Ia em galáxias distantes, publicaram resultados de suas pesquisas que levavam a uma conclusão surpreendente, até para os próprios pesquisadores envolvidos: o universo se encontra em expansão acelerada! Quando o esperado seria exatamente o contrário: pelo conhe-

² Segundo dados do dia 28/02/2012, já há 760 planetas extra-solares com descoberta confirmada (fonte: Enciclopédia dos Planetas Extra-Solares, <<http://exoplanet.eu/index.php>>, acesso em 28 fev 2012).

cimento que se tinha até então, devido à ação da gravidade – uma força sempre atrativa, gerada pela massa dos objetos que compõe o universo – era de se esperar que a expansão estivesse sendo freada, não acelerada.

Dada a enorme importância e impacto dessa conclusão para o estudo do universo como um todo e sua evolução – área da ciência denominada Cosmologia –, obtida com forte base observacional, por dois grupos independentes, os líderes destas duas equipes foram laureados com o Prêmio Nobel de Física no ano 2011 (NOBELPRIZE.ORG, 2011).

Atualmente, a interpretação predominante com relação a esse espantoso resultado é de que há uma força repulsiva que atua em grande escala no universo, que não só se opõe, mas está vencendo a força atrativa da gravidade. Essa força repulsiva seria produzida por uma chamada “energia escura” (*dark energy*, em inglês), a qual constituiria a maior parte da matéria-energia de todo o universo, e cuja natureza ainda é totalmente desconhecida...

Ainda há um longo caminho a se percorrer até se conseguir lançar mais luz sobre essa questão. Essa descoberta surpreendente e seu impacto mostram, por um lado, a importância da Astronomia, da observação do céu, dos astros e de seus movimentos, e, por outro, ilustram bem a natureza da própria Ciência: ela é um processo em aberto, sempre sujeita a reformulações, mudanças de visão ou verdadeiras revoluções no pensamento, sempre com base no método científico, cujo critério máximo é a adequação da teoria à realidade observada. Como é dito na nota publicada no site oficial do prêmio Nobel, acerca da premiação em Física em 2011:

“The acceleration is thought to be driven by dark energy, but what that dark energy is remains an enigma - perhaps the greatest in physics today. What is known is that dark energy constitutes about three quarters of the Universe. Therefore the findings of the 2011 Nobel Laureates in Physics have helped to unveil a Universe that to a large extent is unknown to science. And everything is possible again.”
(NOBELPRIZE.ORG, 2011)

1.2 LOCALIZAÇÃO DOS ASTROS NO CÉU: A ASTRONOMIA DE POSIÇÃO E A ESFERA CELESTE

Como primeiro passo, antes de abordarmos a explicação dos ciclos astronômicos básicos, que regem a vida na Terra, optamos por começar abordando como é feita a localização dos astros no céu, e, na seção seguinte (I.3), quais são os principais movimentos que eles apresentam quando observados da superfície da Terra, propondo a realização de exercícios “práticos” (na verdade virtuais) com o excelente software *Stellarium*, bem como observações diretas do céu. Essa será uma abordagem mais intuitiva e sensível, que começará ilustrando, por meio de visualizações, que movimentos dos astros efetivamente podemos observar no céu, quando o olhamos da superfície da Terra. Essa abordagem, que adota um referencial geocêntrico, terá a grande vantagem de estimular um maior contato com o céu/natureza, bem como dará uma idéia bem mais precisa do difícil desafio que foi enfrentado (e vencido) pelos cientistas antigos e do início da Idade Moderna, para desvendar a intrigante “dança” dos astros, especialmente dos planetas, com seus misteriosos movimentos retrógrados.

O tema da localização e descrição do movimento dos astros faz parte de uma das mais tradicionais e importantes partes da Astronomia, denominada “Astronomia de Posição” ou “Astrometria”. Conhecimentos básicos de Astronomia de Posição são importantes para quem utilizará atividades – fortemente recomendáveis – de realização de observações diretas do céu, ou de uso de um planetário (mesmo que virtual³) para ensinar Astronomia.

Em Física aprendemos que todo o movimento sempre é relativo, ou seja, depende do referencial em relação ao qual ele é observado. Para a descrição dos movimentos dos astros no céu não é diferente. Será imprescindível definirmos os referenciais que utilizaremos para a localização e descrição dos movimentos dos astros. Para tanto introduziremos, a seguir, dois dos sistemas de referência mais utilizados em Astronomia: o sistema horizontal local e o sistema equatorial. O primeiro baseado na superfície da Terra, o segundo, nas estrelas, ou, mais precisamente, na esfera celeste, um dos conceitos mais im-

³Podemos considerar o software *Stellarium*, como um planetário virtual.

portantes da Astronomia de Posição, que apresentaremos a seguir, juntamente com o também útil e histórico conceito de “constelação”, usado no mapeamento do céu.

1.2.1 A Esfera Celeste e as Constelações

1.2.1.1 As Origens

O conceito de esfera celeste tem suas origens na Antiguidade: várias civilizações concebiam a Terra como plana e recoberta por uma abóbada celeste, ou firmamento, no qual estavam situados os astros. Já os gregos antigos, após Pitágoras, concebiam o universo como um cosmos (universo ordenado) no qual, aos astros, estava associada a forma geométrica mais perfeita e simétrica: a esfera. Segundo essa concepção, a própria Terra seria esférica e estaria localizada no centro do universo (um universo geocêntrico). A Lua, o Sol e cada um dos cinco planetas então conhecidos estariam localizados em esferas concêntricas, encaixadas uma dentro da outra. A oitava esfera seria a do firmamento, na qual se encontrariam fixas as estrelas e que realizaria um movimento diário, de leste para oeste, em torno da Terra, o que explicaria o nascer e o caso diário dos astros (figura 1.1).



Figura 1.1: Concepção geocêntrica de universo, com cada um dos sete astros errantes (planetas) associado a uma esfera. As estrelas ficariam situadas na oitava esfera, a do firmamento.

Fonte: <<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ptolemaicsystem-small.png>>.

Para os antigos gregos, essa esfera celeste não era nada fictícia, ao contrário, eles acreditavam na existência, de fato, de uma casca esférica cristalina, sobre cuja superfície as estrelas estariam incrustadas e presas em posições fixas. Essa noção foi a dominante por vários séculos na cultura ocidental, e só começou a ser suplantada em 1543, com a publicação do livro *De revolutionibus orbium coelestium* (“Da revolução de esferas celestes”), de Nicolau Copérnico, onde, pela primeira vez em muitos séculos⁴, era proposto um modelo heliocêntrico de universo.

O fato de as estrelas permanecerem fixas, umas em relação às outras, foi também o que deu origem, na mais remota Antiguidade, à concepção de “constelação”, como sendo um agrupamento de estrelas ao qual era associada alguma entidade mitológica. Com efeito, o fato de as estrelas se manterem na mesma posição, umas em relação às outras, é o que faz com que os agrupamentos mantenham sempre o mesmo padrão e forma, permitindo que os mesmos sejam reconhecidos e a eles associados sempre a mesma figura mitológica. A posição da constelação com relação ao horizonte pode variar, mas sua forma se mantém a mesma (figura 1.2). A invenção das constelações ocorreu praticamente em todos os povos e culturas, seja da antiguidade ou contemporâneos, com cada povo associando aos agrupamentos algum objeto ou entidade mitológica de importância em sua própria cultura⁵. Sua utilidade prática, para todas as antigas culturas, foi enorme, pois graças a elas foi possível fazer um mapeamento e reconhecimento do céu, criando-se referências que permitem a orientação e a identificação de ciclos astronômicos básicos, como a duração do ano. O nascer helíaco das Plêiades, por exemplo, era e é usado

⁴ Aristarco de Samos, filósofo grego do século II a.C., já havia proposto um modelo heliocêntrico de universo, contudo esta sua idéia teve pouca aceitação entre seus contemporâneos.

⁵ O tema das constelações concebidas em diversas culturas, antigas e modernas, é abordado dentro da grande área de estudos chamada Astronomia Cultural e, mais especificamente, dentro das áreas da Arqueoastronomia e Etnoastronomia. Com relação às constelações de culturas indígenas brasileiras ver, p. ex., Afonso (acesso em 23 jan 2012, acesso em 20 fev 2012).

por vários povos indígenas brasileiros para marcar o início de um novo ano⁶.

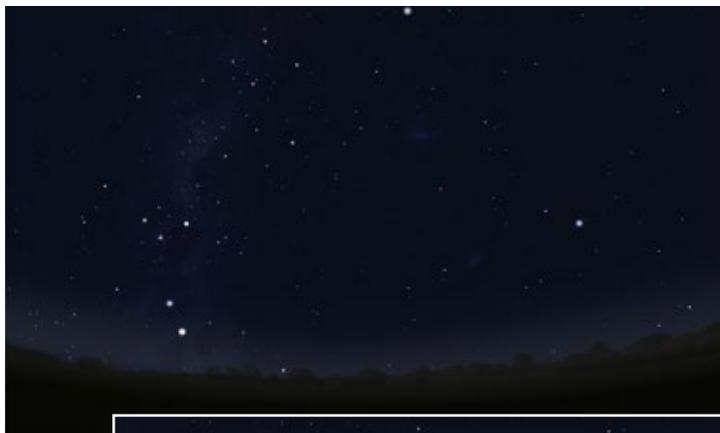


Figura 1.2: Constelação do Cruzeiro do Sul observada em três instantes de uma mesma noite. De cima para baixo, às 19:30 h, 01:30 h e 04:30 h. A constelação muda de posição em relação ao horizonte, mas não de forma.

Fonte: software *Stellarium*, www.stellarium.org.

⁶Na cultura ocidental as Plêiades não são consideradas propriamente uma constelação, mas um asterismo (grupo de estrelas que formam um padrão facilmente reconhecível, dentro de uma mesma constelação, ou reunindo estrelas de mais de uma constelação), fazendo elas parte da constelação do Touro. Sobre o significado do nascer heliaco das Plêiades para os índios brasileiros, veja o artigo de Afonso (acesso em 25 fev 2012).

1.2.1.2 As estrelas de fato são fixas?

Neste ponto, cabe fazer uma importante pergunta: afinal, por que os antigos consideravam que as estrelas permaneciam fixas, umas em relação às outras⁷? Será que, efetivamente, elas permanecem paradas no espaço, umas em relação às outras? E se isso não fosse verdade e elas se movessem, como se explicaria que as constelações não mudam de forma, mesmo com o passar de séculos?

A resposta que esclarece estas questões reside exclusivamente no seguinte ponto: nós humanos somos muito pequenos e efêmeros frente ao universo. Como somos pequenos, a distância entre nossos olhos também o é. Como é essa separação que nos permite uma visão binocular, estereoscópica, com base na qual conseguimos avaliar a distância aos objetos que estão a nossa volta, percebendo-os em três dimensões, o fato de a separação entre nossos olhos ser pequena (no máximo uns 10 cm) faz com que nossa visão tridimensional, baseada nesta nossa visão binocular, só funcione bem até uma distância de uns poucos metros, ou, no máximo, de algumas dezenas de metros. Além disso, nosso cérebro só consegue avaliar distâncias usando outras referências, como o tamanho de objetos familiares, que já foram vistos de perto, quando avistados ao longe. Mas no caso dos astros, que referência familiar teríamos para poder avaliar sua distância? A resposta é: nenhuma! Em consequência, usando apenas o instrumento com que fomos naturalmente dotados – nossos olhos – é impossível perceber a que distância se situam os astros e a sua tridimensionalidade. Perdemos completamente nossa visão 3D quando olhamos para o céu. Somente usando nossa inteligência e instrumentos é que, indiretamente, se torna possível determinar as distâncias até os astros – o que, aliás, consiste num dos principais problemas da Astronomia. Ao observar o céu a olho nu, nossa visão se torna planificada, bidimensional, 2D: o Sol e a Lua nos parecem discos, não esferas, e as estrelas, sem a noção de profundidade, nos parecem estar todas situadas aproximadamente a uma mesma distância, sobre uma abóbada celeste, cuja aparência é de uma superfície curva que recobre a Terra. Isso explica porque os antigos acreditavam que as estrelas estivessem todas situadas a uma mesma distância, sobre a superfície interna de uma ampla esfera celeste.

⁷ Mas não em relação ao horizonte, conforme mostrado no figura 1.2.

Muito bem, mas nossa questão principal era: por que as estrelas, além de parecerem situadas a uma mesma distância, também parecem fixas umas em relação às outras? Mais uma vez, o que explica esta sensação é não apenas o nosso tamanho ínfimo, quando comparado à Terra, aos demais astros e suas distâncias, mas o tamanho diminuto da própria Terra, bem como de sua órbita em torno do Sol, quando comparado à imensa distância que nos separa das estrelas. Em verdade, nada no universo está parado. Se usarmos como referência o Sol, todas as estrelas mais próximas movem-se, em relação a ele, com uma velocidade da ordem de dezenas de quilômetros por segundo. As mais distantes se movem a velocidades ainda maiores. Por que então elas aparentam estar paradas? O que acontece é que, devido à imensa distância a que estão situadas, mesmo que o deslocamento que elas sofram, digamos em um ano, seja de alguns bilhões de quilômetros, como a distância das estrelas, mesmo as mais próximas, é da ordem de dezenas de trilhões de quilômetros⁸, em termos de deslocamento angular, isso significará, no máximo, um deslocamento de apenas alguns poucos segundos de arco por ano, quando a estrela é observada da Terra⁹. Algo imperceptível a olho nu. Ou seja, mesmo que a velocidade linear das estrelas em relação a nós seja grande, seu afastamento de nós é tão grande que sua velocidade angular, para um observador situado na Terra, é muito pequena, praticamente imperceptível a olho nu. Razão pela qual elas nos parecem fixas, umas em relação às outras. É claro que, atualmente, com o uso dos telescópios, o chamado “movimento próprio”, que é definido pelos astrônomos como o sendo o deslocamento angular por unidade de tempo, na direção transversal à nossa linha de visada, geralmente expresso em segundos de arco por ano, é perfeitamente perceptível no caso das estrelas mais próximas. Porém, a olho nu, ele é imperceptível, e é nesta nossa incapacidade de perceber pequeníssimos deslocamentos angulares, consequência da imensa distância a que se encontram as estrelas, que reside o fundamento para a crença de que as estrelas permanecem fixas umas em relação às outras, ocupando,

⁸ Até alfa do Centauro, a estrela mais próxima de nós, a distância é de cerca de 40 trilhões de quilômetros (4,3 anos-luz).

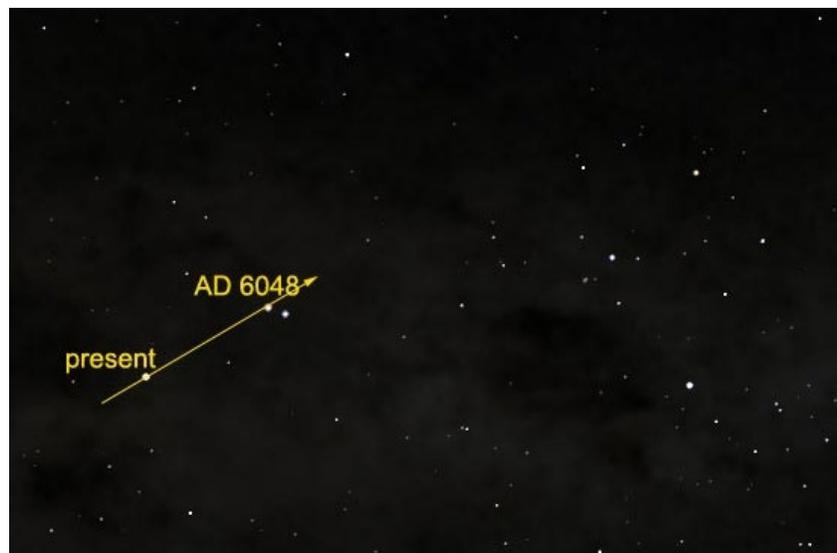
⁹ Supondo ainda que esse deslocamento seja na direção transversal à linha de visada, pois se ele fosse na direção radial, não perceberíamos qualquer deslocamento angular.

portanto, sempre a mesma posição no firmamento. Na verdade, essa não deixa de ser uma ótima aproximação, principalmente para as estrelas mais distantes. Em várias situações, sem maiores prejuízos, podemos esquecer efeitos produzidos pelo movimento próprio das estrelas e as considerarmos fixas.

Até aqui abordamos a questão da aparência de imobilidade das estrelas, umas em relação às outras, considerando, sobretudo, as enormes distâncias envolvidas, ou seja, considerando as dimensões espaciais. Contudo, também é interessante analisarmos a questão sob o ponto de vista do tempo. Conforme dissemos anteriormente, somos não só muito pequenos, mas também muito efêmeros quando comparados ao universo. Isto é, o tempo de uma vida humana, digamos cerca de 100 anos, não é nada em comparação com o tempo cósmico. Nosso universo tem cerca de 14 bilhões de anos e o sistema solar e o planeta Terra, cerca de 5 bilhões de anos. Comparada a estes valores, uma vida humana é como um flash no tempo cósmico. A longo de uma vida só conseguimos capturar um instantâneo do cosmos: todos os astros mais distantes nos parecem parados. Se vivêssemos milênios, em vez de, no máximo, um século, então poderíamos perceber, com nossos próprios olhos, o movimento das estrelas e observar que as próprias formas das constelações iriam se modificando com o passar do tempo (figura 1.3).

Figura 1.3: Deslocamento previsto para a estrela mais próxima a nós, α do Centauro: daqui a 4.000 anos ela deverá se situar próxima à β do Centauro. A direita se vê a constelação do Cruzeiro do Sul.

Fonte: <en.wikipedia.org/wiki/File:Motion-of-Alpha-Cen.jpg>.



1.2.1.3 Os conceitos atuais de esfera celeste e constelação

Por estranho que pareça, embora atualmente saibamos que uma esfera celeste cristalina, onde estariam incrustadas e fixas as estrelas, como acreditavam os antigos, não existe, ela deu origem a uma concepção puramente abstrata e conceitual, muito utilizada e importante na Astronomia de Posição. O conceito atual de esfera celeste é:

Esfera celeste: casca esférica fictícia, centrada na Terra, com raio tendendo ao infinito, sobre cuja superfície podemos imaginar projetados todos os objetos celestes, em relação à qual as estrelas mais distantes estão paradas, e cujo movimento, em relação à superfície da Terra, corresponde ao movimento destas estrelas fixas (figura 1.4).

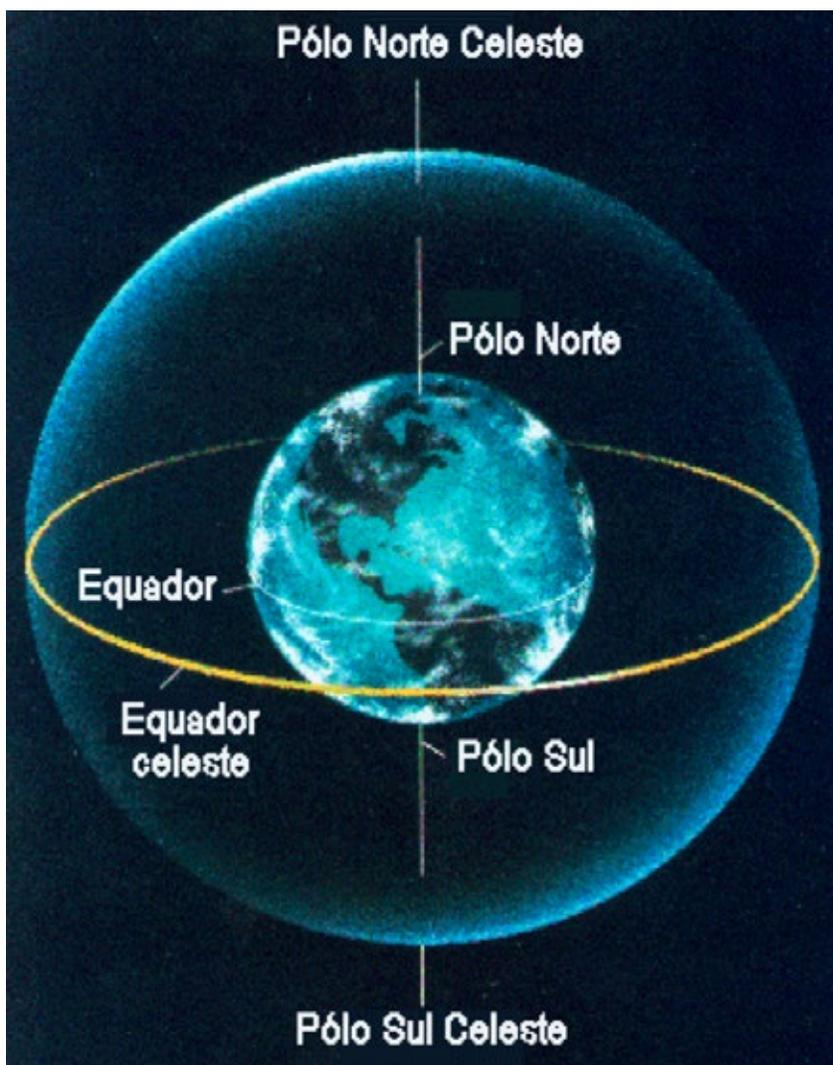


Figura 1.4: Representação esquemática do conceito atual de esfera celeste. Na figura ela aparece com um raio pouco maior que o da Terra, mas, por definição, seu raio é muitíssimo maior que o da Terra, tendendo ao infinito, de tal modo que nosso planeta e observadores situados em sua superfície possam ser considerados como pontos, localizados bem no centro da esfera celeste.

Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/esf.htm>>

A grande utilidade deste conceito, originado numa concepção geocêntrica de universo, é que, por meio de sua utilização, podemos fazer a indicação precisa da posição dos astros no céu, quando observados da superfície Terra, referencial ao qual, inevitavelmente, estamos presos (exceto no caso dos astronautas, quando estão no espaço) e somos forçados a utilizar. Embora saibamos que a Terra não é o centro do universo, ela é a nossa base de observação do universo. A indicação da posição dos astros é feita, então, por meio da definição de algumas referências sobre a esfera celeste e de sistemas de coordenadas nelas baseados, como veremos logo a seguir.

Será então possível localizar, precisamente, qualquer ponto sobre ela, ou seja, qualquer ponto que apareça no céu, por meio da introdução de duas coordenadas angulares, da mesma forma que o fazemos quando definimos as coordenadas latitude e longitude e, por meio delas, conseguimos indicar a posição de qualquer ponto sobre a superfície do globo terrestre. De acordo com a definição, o movimento da esfera celeste, com relação à superfície da Terra, corresponde ao movimento descrito pelas estrelas fixas. E qual é esse movimento? Para responder a esta pergunta, vale a pena observarmos com atenção a imagem que aparece na figura 1.5.

Figura 1.5: Foto tirada com uma câmera fotográfica apontada para o céu junto ao horizonte sul, a noite, mantendo seu obturador aberto durante várias horas. O que são os arcos luminosos circulares e concêntricos registrados na foto? Que ponto especial é aquele situado bem no centro, em torno do qual as luzes parecem girar?

Fonte: <www.aao.gov.au/images/captions/aat006.html>.



A imagem, tirada junto ao *Siding Spring Observatory*, na Austrália, foi obtida a noite, deixando-se uma máquina fotográfica parada, sobre um tripé, apontando na direção sul e mantendo o seu obturador aberto durante várias horas, captando a luz da paisagem para a qual estava apontada, junto ao horizonte sul.

Podemos ver o perfil do observatório e algumas árvores, mas o que aparece registrado no céu?... É a trajetória das estrelas em seu movimento com relação ao horizonte sul! Que ponto misterioso é aquele em torno do qual todas as estrelas parecem girar?... Vamos pensar juntos: a máquina fotográfica permaneceu parada com relação ao solo, em seu tripé, porém o solo permaneceu parado? Não! O solo gira junto com a Terra em torno de seu eixo de rotação, no sentido de oeste para leste, fazendo com que, em relação ao solo, as estrelas aparentem girar no sentido contrário, descrevendo trajetórias circulares no céu. O que aparece registrado na foto, portanto, nada mais é do que o movimento que, em Astronomia, se costuma chamar de “movimento aparente” das estrelas com relação ao horizonte, descrevendo uma rotação no sentido contrário ao da rotação da Terra. Como, por definição, o movimento das estrelas é o movimento da esfera celeste, também podemos dizer que o que está registrado no céu desta foto é o movimento da esfera celeste. E o ponto em torno do qual todas as estrelas giram, o que é?... Simplesmente corresponde ao ponto do céu para onde aponta o eixo de rotação da Terra, ou seja, indica a direção em que está orientado o eixo de rotação terrestre. Usando o conceito de esfera celeste, podemos dizer que ele corresponde ao ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra “fura” a esfera celeste. Ou que ele corresponde à projeção de um dos pólos da Terra no céu, ou seja, na esfera celeste. Qual dos pólos da Terra? Ora, se a foto foi tirada na Austrália, isso significa que o observatório está situado no hemisfério sul da Terra. Portanto, o pólo cuja projeção podemos visualizar no céu, a partir deste local, corresponde ao pólo sul da Terra. Sua projeção no céu – aquele ponto misterioso ao qual nos referimos inicialmente – é então definido como sendo o **pólo sul celeste**. Da mesma forma, o ponto da esfera celeste que corresponde à projeção do pólo norte da Terra no céu (ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra “fura” a esfera celeste no extremo oposto, ao norte) é definido como sendo o **pólo norte celeste**. De maneira semelhante, também é definido o **equador celeste** como sendo a projeção do equador terrestre na

Figura 1.6: Foto tirada do mesmo local e da mesma forma que a apresentada na figura 1.5, mas com a câmera voltada para o horizonte norte.

Fonte: <www.aao.gov.au/images/captions/misc018.html>.



esfera celeste, ficando situado a 90° dos pólos (veja figura 1.4). O equador celeste divide a esfera celeste em dois hemisférios: o **hemisfério celeste norte** e o **hemisfério celeste sul**. Desta forma ficam definidas referências na esfera celeste, a partir das quais será definido o **sistema equatorial** de coordenadas celestes, que será precisamente definido no item 1.2.2.2.

Na figura 1.6 apresentamos uma imagem obtida do mesmo local e de maneira semelhante à da figura 1.5, mas com a câmera apontada para o norte. Como era de se esperar, devido à rotação da esfera celeste, novamente as estrelas deixam marcadas suas trajetórias circulares em relação ao horizonte, só que agora o pólo norte celeste não fica visível, mas está abaixo do horizonte, já que o local (Austrália) está situado no hemisfério sul da Terra.

E quanto às tradicionais constelações, elas continuam sendo utilizadas pelos astrônomos? Sim, e muito, de maneira semelhante aos antigos, como um recurso para efetuar o mapeamento e reconhecimento do céu, porém sem qualquer conotação mitológica ou mística, mas sendo encaradas simplesmente como regiões bem definidas e delimitadas da esfera celeste, cuja localização busca guardar correlação com as tradicionais constelações da cultura ocidental. O conceito atualmente utilizado pelos astrônomos é:

Constelação: uma dada região da esfera celeste com limites bem definidos, sendo a posição dos limites indicada por meio de coordenadas celestes (figura 1.7).

Em 1930 a União Astronômica Internacional (*International Astronomical Union*) convencionou e delimitou precisamente as atuais 88 constelações oficiais utilizadas pelos astrônomos, cada uma delas ocupando uma região bem definida da esfera celeste¹⁰. Toda a esfera celeste foi “loteada” nestas 88 regiões. Qualquer estrela ou outro astro no céu sempre estará localizado dentro de uma dada constelação

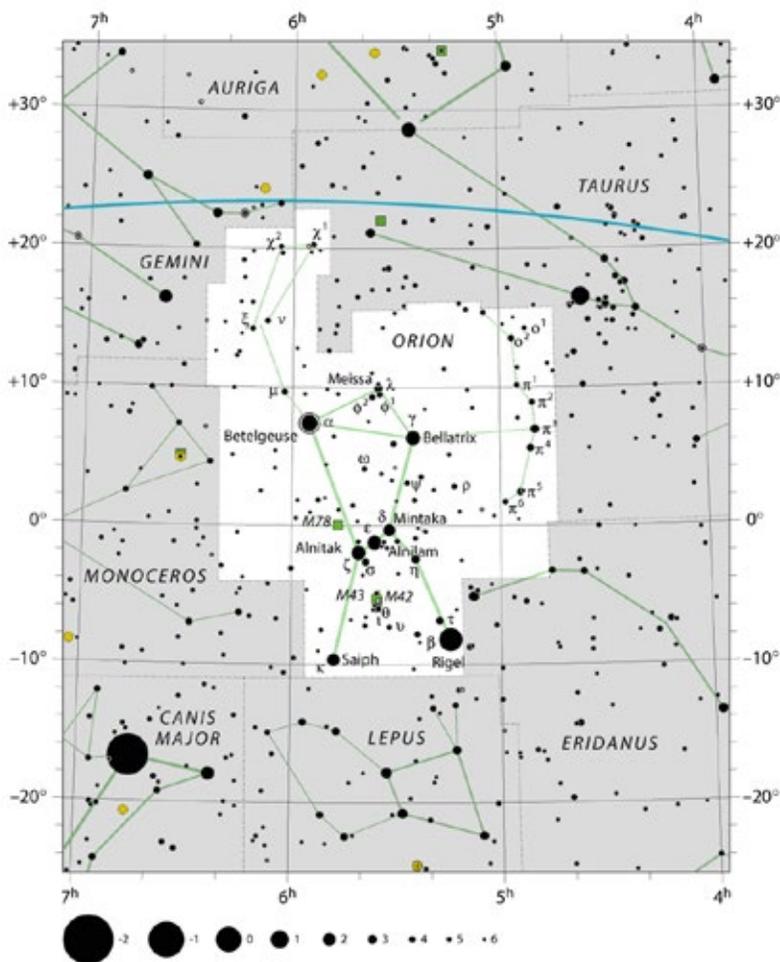


Figura 1.7: Constelação do Órion: região do céu com limites bem definidos, indicados por meio de coordenadas celestes.

Fonte: <www.iau.org/static/public/constellations/gif/ORI.gif>.

¹⁰ Veja a página da IAU indicada nas referências (IAU, acesso em 26 fev 2012).

1.2.2 Sistemas de referência

Indicar a posição no céu (esfera celeste) na verdade corresponde a indicar a direção em que devemos olhar, ou apontar nosso telescópio, para avistá-lo, sem entrar em consideração sobre qual seria sua distância até nós. Pensando em termos de coordenadas esféricas, isso significa não considerarmos a coordenada radial dessa sua posição. Portanto, como basta apenas indicar a direção, sempre serão suficientes duas coordenadas angulares. A seguir apresentamos e definimos dois dos sistemas de referência mais utilizados em Astronomia – o horizontal e o equatorial – e suas respectivas coordenadas angulares.

1.2.2.1 O Referencial Horizontal Local

O referencial horizontal local é um referencial fixo à superfície da Terra, com origem no observador e que usa como referências básicas a direção vertical e o plano do horizonte. A direção vertical é definida como sendo a direção para a qual aponta um fio de prumo colocado no local do observador. O plano do horizonte, por sua vez, corresponde ao plano perpendicular à vertical e que passa pelos olhos do observador. Caso o observador estivesse situado num local com um horizonte ideal, totalmente desimpedido, como em alto-mar, com mar calmo, ou numa imensa planície, o plano do horizonte poderia também ser definido como o plano que contém a linha do horizonte (BOCZKO, 1984).

O ponto sobre a cabeça do observador em que a vertical “fura” a esfera celeste é denominado **zênite**. O ponto em que a vertical “fura” a esfera celeste do lado oposto, sob os pés do observador, é denominado **nadir**. O plano do horizonte divide, portanto, a esfera celeste em dois hemisférios: o zenital, com contém o zênite, e o nadiral, que contém o nadir.

O plano que contém a vertical e a linha norte-sul é denominado plano meridiano (figura 1.8). A circunferência formada pela intersecção deste plano com a esfera celeste é chamada de meridiano local. Qualquer semi-plano delimitado pela vertical do local é denominado plano vertical e a intersecção de um plano vertical com a esfera celeste define

uma semi-circunferência denominada circunferência vertical, que define um semi-círculo chamado círculo vertical. (BOCZKO, 1984).

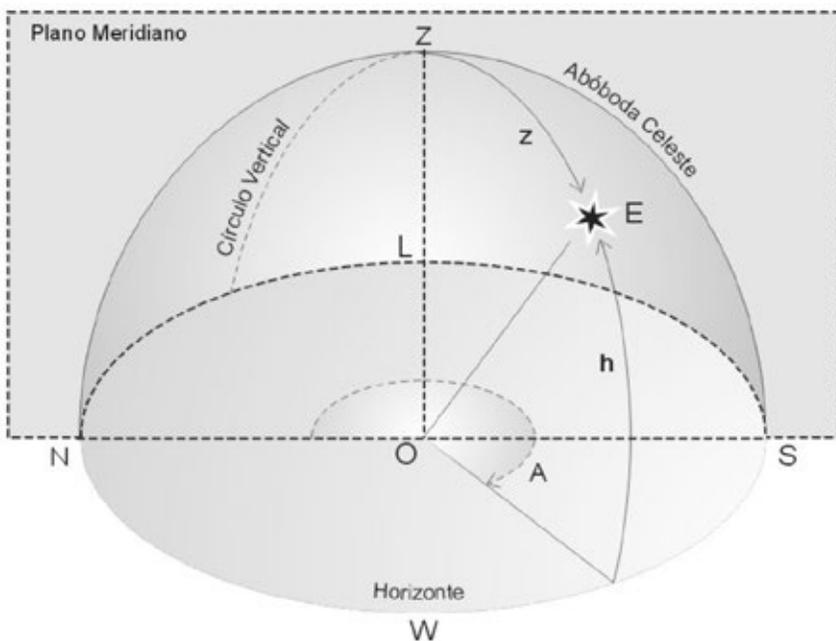


Figura 1.8: Sistema horizontal local de referência e suas coordenadas: azimute (A) e altura (h).

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/livro_v1.pdf>.

Uma vez apresentadas essas definições e referências, podemos definir as duas coordenadas angulares utilizadas para indicar a posição de um astro neste referencial:

- **Azimute (A):** é o ângulo, medido em graus, contado sobre o plano do horizonte, desde o norte, no sentido para o leste, até o vertical do astro (figura 8).
- **Altura (h):** é o ângulo, medido em graus, contado sobre o plano vertical do astro, desde o plano do horizonte até o astro, sendo considerado positivo, quando o astro está acima do horizonte, ou negativo, quando o astro está abaixo do horizonte. Em lugar da altura (h), também pode ser utilizada a **distância zenital (z)**, que é o ângulo, medido sobre o vertical do astro, desde o zênite até o astro (figura 1.8).

A enorme importância deste referencial local, geocêntrico, é que ele corresponde ao referencial real a partir do qual efetivamente fazemos nossas observações do céu. Num planetário também: o céu projetado em sua cúpula corresponde, normalmente, a esse céu visto da superfície da Terra, ou seja, a partir de um referencial local, que

pode estar situado em qualquer ponto da superfície da Terra, seja próximo ao equador ou aos pólos, mas que sempre se acha preso à sua superfície.

1.2.2.2 O Referencial Equatorial

O referencial equatorial é um referencial fixo na esfera celeste, ou seja, nas estrelas, e tem como grande vantagem o fato de as coordenadas das estrelas não variarem com o tempo (a menos que a estrela, eventualmente, apresente um movimento próprio¹¹ não desprezível). Analogamente ao que é feito para indicação de posição na superfície da Terra, por meio das coordenadas geográficas latitude e longitude, definem-se, sobre a esfera celeste, **paralelos celestes**, que são linhas de intersecção entre planos paralelos ao plano do equador e a esfera celeste, e meridianos celestes, denominados **círculos horários**. Para completar a analogia, é necessário definir qual meridiano desempenhará um papel semelhante ao do Meridiano de Greenwich na Terra. Para este fim é escolhido como referência o círculo horário que passa pelo chamado ponto γ (gama), que é o ponto de intersecção entre o equador celeste e a linha da eclíptica¹² no qual o Sol cruza o equador celeste movendo-se no sentido do sul para o norte.

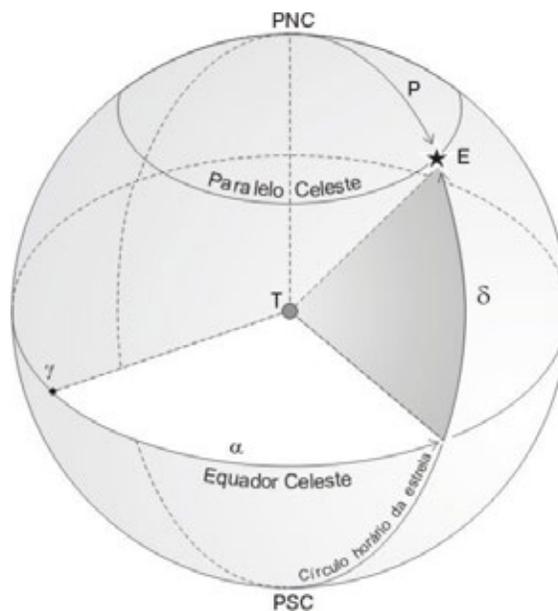


Figura 1.9: Sistema equatorial de referência e suas coordenadas: ascensão reta (α) e declinação (δ).

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/livro_v1.pdf>.

¹¹ Conforme definido no item 1.2.1.2.

¹² A linha eclíptica corresponde à trajetória anual seguida pelo Sol na esfera celeste, como veremos mais detalhadamente no item 1.3.4.

Introduzidas essas definições, podemos definir as duas coordenadas utilizadas no sistema equatorial:

- **Ascensão reta (α):** é o ângulo, tradicionalmente medido em horas ($24^h = 360^\circ$), contado sobre o equador, desde o círculo horário que passa pelo ponto γ até o círculo horário que passa pelo astro, sendo a medida do ângulo feita no sentido anti-horário quando vista desde o pólo norte (figura 1.9).
- **Declinação (δ):** é o ângulo, medido em graus, contado sobre o círculo horário que passa pelo astro, desde o equador até o astro, sendo positiva quando o astro está no hemisfério celeste norte, e negativa quando ele está no **hemisfério sul**. De maneira equivalente, também é utilizada a **distância polar (p)**, que é o ângulo medido sobre o círculo horário do astro, desde o pólo norte celeste, até o astro (figura 1.9).

1.3 OS MOVIMENTOS DOS ASTROS QUANDO OBSERVADOS DA TERRA

Nesta seção faremos uma descrição dos principais movimentos dos astros quando observados da Terra. Conforme já salientamos, ela é o nosso referencial natural, ao qual estamos inevitavelmente presos. É a partir de sua superfície que, concretamente, observamos o universo. O céu é a nossa janela para o universo. Vamos então falar dos principais movimentos que podemos observar quando olhamos através desta janela da espaçonave Terra. Foi assim, a partir deste ponto de vista geocêntrico e dos movimentos nele observados, e após muita reflexão, trabalho observacional cuidadoso, formulação e teste de hipóteses, que os astrônomos dos séculos XVI e XVII foram capazes de formular e sustentar o modelo heliocêntrico de universo, com os planetas descrevendo órbitas elípticas com o Sol posicionado num dos focos.

A seguir passamos a apresentar uma descrição do que podemos observar, a olho nu, no céu, acompanhada de sugestões de atividades a serem realizadas utilizando o software *Stellarium*, que permitirá visualizar, de maneira bastante realista, o que se pode observar no céu.

1.3.1 Instalando e inicializando o *Stellarium*

Como primeira providência para realização das atividades que sugeriremos a seguir, consiga um computador que tenha acesso à internet, para baixar o programa, e que você possa continuar utilizando durante o estudo. Baixe o software a partir de seu site oficial: <www.stellarium.org>. Existe, inclusive, uma tradução desta página em português: <www.stellarium.org/pt>. Note que ele é um programa multiplataforma. Baixe a versão compatível com o sistema operacional instalado em seu computador (Windows, Mac OS X ou Linux). Abra o arquivo executável e siga os passos indicados para sua instalação.

Logo após completar a instalação, abra o programa. Note que ele apresenta duas barras de menu, uma embaixo, outra na lateral esquerda. Para que elas apareçam você deve mover o mouse até bem embaixo, ou até bem a esquerda. Clique na opção “Localização” (*Location*) do menu à esquerda, ou tecla F6, para abrir a janela de localização, e situe a localidade em que você está (esta indicação é fundamental, pois o céu visível muda de acordo com a posição do observador na superfície da Terra). Se você estiver, p. ex., na cidade de Vitória, você pode clicar diretamente na sua posição no mapa-mundi que aparece nesta janela, ou procurar pelo nome da cidade na lista à direita (Vitória, Brazil) e marcá-la, ou então entrar diretamente com os valores das coordenadas geográficas latitude e longitude do seu local de observação¹³ nos campos destinados a isso, embaixo à esquerda. Note que, mesmo que você não more em Vitória, mas numa localidade relativamente próxima a ela, como em qualquer localidade do estado do Espírito Santo, não há problema que você escolha Vitória como localidade, pois o céu varia pouco entre localidades relativamente próximas. Uma vez feita a sua indicação, convém clicar na opção de usar essa localização como *default*, no canto inferior esquerdo da janela de localização. Feito isso, na próxima vez que abrir o programa, você já estará posicionado na sua localidade.

¹³No caso de Vitória, as coordenadas aproximadas são: latitude: 20° Sul (S); longitude: 40° Oeste (W).

Comece explorando as funções básicas do programa quanto ao campo de visão e informações sobre os astros:

- Altere o campo de visão clicando com o botão esquerdo do mouse em qualquer ponto da tela e arrastando, levando a visão para a direção que você deseja, ou então usando as teclas com as setas $\uparrow\downarrow\rightarrow\leftarrow$ para mover o campo de visão para cima ou para baixo, para a direita ou para a esquerda.
- Use o botão de rolamento do seu mouse, as teclas $\text{Ctrl}+\uparrow$ ou $\text{Ctrl}+\downarrow$, ou ainda *Page Up/Down*, para fazer *zoom in/out* e ampliar ou reduzir o campo de visão.
- Clique com o botão esquerdo do mouse em qualquer objeto que estiver aparecendo. Ele ficará marcado e uma janela no alto à esquerda é aberta com diversas informações sobre o mesmo, como sua magnitude (brilho), coordenadas e distância à Terra. Clicando com o botão direito do mouse em qualquer ponto da tela o objeto é desmarcado e desaparece a janela com informações. **Sempre que quiser ter o campo de visão livre de janelas, clique com o botão direito do mouse em qualquer ponto fora das janelas.** Eventuais janelas do menu que estiverem abertas ficarão transparentes.
- Se um objeto estiver marcado e você teclar a barra de espaço, o campo de visão será centralizado no objeto, o que será bastante útil se você desejar fazer, por exemplo, um *zoom* sobre ele.
- Você também pode fazer *zoom in/out* num objeto que já esteja marcado usando, respectivamente, as teclas / e \. Experimente fazer isso, p. ex., com a Lua ou com um planeta. Depois de fazer *zoom in* num planeta, como Júpiter ou Saturno, que possuem várias luas, também é interessante fazer *zoom in* sobre uma de suas luas, para vê-la de perto. Experimente.

A seguir explore as opções básicas da barra de menu que fica embaixo, em especial a que coloca ou retira o efeito da atmosfera (sem ela, mesmo de dia o céu seria negro e as estrelas, visíveis); a que coloca e retira o solo (ao retirá-lo, você poderá ver astros que

estão abaixo do horizonte); as que colocam ou retiram os nomes, as figuras mitológicas e as linhas indicativas das constelações e as que inserem ou retiram as grades dos sistemas de coordenadas equatorial e azimutal¹⁴.

Quanto ao ponto chave de domínio do tempo, quase tudo é possível nesse ambiente virtual, como o é nos planetários reais¹⁵:

- Você pode introduzir qualquer data e horário, para que o programa mostre o céu visível da sua localidade em qualquer ocasião desejada, no passado, presente ou futuro, por meio da opção disponível na barra de menu da esquerda, que abre uma janela com data e hora, as quais podem ser alteradas à vontade.
- Há comandos para acelerar e retardar a passagem do tempo na barra de menu que fica embaixo. A mesma coisa pode ser feita, de maneira mais prática, apertando as teclas J, K e L: J reduz a taxa de passagem do tempo, K faz o tempo passar à sua taxa normal, L acelera a taxa de passagem do tempo. Teclando repetidamente J e L você pode acelerar/diminuir cada vez mais a taxa de passagem do tempo. Experimente. O efeito de aceleração da passagem do tempo será importantíssimo para a visualização dos movimentos dos astros nas atividades que proporemos a seguir.

O *Stellarium* possui diversos outros recursos que você pode explorar seguindo as demais opções do menu, ou consultando a sua ajuda, na qual também há links para baixar o seu guia de usuário, e consultar suas FAQs, fórum e Wiki, mas para a realização das atividades que a seguir proporemos, o uso das opções e recursos que acima citamos é mais do que suficiente.

¹⁴ Que correspondem aos sistemas que definimos nos itens 1.2.2.2 e 1.2.2.1, sendo que o sistema chamado de “azimutal” (*azimuthal*) no *Stellarium* corresponde ao sistema que denominamos “horizontal local”, no qual uma das coordenadas é o azimute.

¹⁵ O *Stellarium* é um software do tipo “planetário”, ou seja, tem recursos e permite visualizações semelhantes às obtidas nos planetários reais.

1.3.2 Movimento das estrelas

Na próxima vez que tiver a oportunidade de observar um céu estrelado de um local que tenha um horizonte razoavelmente desimpedido e, de preferência, longe das luzes da cidade, além de apreciar sua beleza, também aproveite para fazer uma observação mais atenta com relação às mudanças que ele sofre durante uma noite. Você poderá notar que as estrelas não ficam paradas. Para perceber isso, será necessário que você preste atenção na posição de algumas estrelas brilhantes, ou conjunto de estrelas, como uma constelação ou asterismo conhecidos, p. ex., as “Três Marias”, ou o Cruzeiro do Sul. Observe estrelas brilhantes que estejam junto ao horizonte, tanto a leste como a oeste, de modo que você possa utilizar algumas referências nestes horizontes para localizá-las e marcar sua posição. Observe essas estrelas, por exemplo, num dado instante no início da noite, antes do jantar, e noutro instante, cerca de 2 ou 3 horas depois, e compare as duas observações. Você perceberá, nitidamente, que todas as estrelas se moveram. Algumas que estavam próximas do horizonte oeste já podem ter desaparecido e, as que estavam próximas do horizonte leste, estarão mais altas. Possivelmente, outras estrelas, que antes não apareciam, já terão também nascido a leste. Note também que, apesar do movimento, elas mantêm suas posições relativas, conforme já discutimos extensamente na seção 1.2. Mas qual foi exatamente o movimento que elas descreveram? As que nascem sobem em trajetórias perpendiculares ao horizonte e, as que se põem, descem perpendicularmente a ele? Algumas se movem paralelamente ao horizonte? Se você lembrar da discussão realizada no item 1.2.1.3 e das imagens que aparecem nas figuras 1.5 e 1.6, talvez já saiba a resposta, mas vamos aproveitar a possibilidade para simular o que acontece usando o ambiente virtual do software *Stellarium*:

► Atividade 1.1: O movimento diário das estrelas

Abra o programa *Stellarium* que já deve estar configurado para mostrar o céu do local em que você está, conforme instruções dadas no item 1.3.1. Sem alterar o *zoom*, volte seu campo de visão para o leste. Os pontos cardeais aparecem indicados junto ao horizonte por meio de letras: S (sul), E (leste), N (norte) e W (oeste). Se o relógio de

seu computador estiver sincronizado com a hora correta, a hora que estará sendo indicada pelo programa deverá corresponder ao hora real em que você o estiver usando. Portanto, se você estiver fazendo isso de dia, o céu mostrado deverá ser um céu claro, no qual não se vê nenhuma estrela. Use então a opção *Atmosfera (Atmosphere)*, da barra de menu inferior, para retirar o efeito da atmosfera terrestre, o que tornará o céu negro e recheado de estrelas. Agora, para visualizar qual é o movimento das estrelas com relação ao horizonte leste, use o recurso de acelerar a passagem do tempo apertando a tecla L cerca de três vezes, até obter um velocidade em que o deslocamento das estrelas seja facilmente perceptível, mas não exagerado. Observe atentamente e veja que a trajetória delas não é nem perpendicular, nem paralela ao horizonte, mas inclinada de um certo ângulo em relação à vertical. Para visualizar isso com mais clareza, aperte a tecla E que liga a grade do sistema de coordenadas equatorial. Lembre que o sistema equatorial é ancorado na esfera celeste, ou seja, nas estrelas (item 1.2.2.2). Você perceberá que a trajetória de todas as estrelas é paralela aos paralelos celestes e que estes, por sua vez, aparecem inclinados com relação ao horizonte. Qual é o ângulo dessa inclinação e o que o determina?... Por enquanto deixaremos esta pergunta em aberto. Mais tarde a responderemos.

Sem alterar mais nada, apenas volte agora sua visão para o horizonte sul, movendo o seu campo de visão para a direita, apertando a tecla →, ou arrastando a paisagem com o mouse (clitando com o botão esquerdo do mouse e arrastando). Compare o que você vê com a imagem da figura 1.5. Como a grade equatorial está ligada, você pode visualizar perfeitamente, no *Stellarium*, o pólo sul celeste. Note como todas as estrelas giram em torno dele, ou seja toda a esfera celeste, indicada pela grade equatorial, gira em torno de um eixo que nada mais é do que o prolongamento do eixo de rotação da Terra. A origem deste movimento das estrelas e da esfera celeste, conforme já discutimos no item 1.2.1.3, nada mais é do que a rotação da Terra no sentido contrário. O movimento que você está visualizando no *Stellarium* é o chamado **movimento diário** das estrelas, cujo período, chamado **dia sideral**, é de cerca de 23 horas e 56 minutos, que corresponde ao período real de rotação da Terra em torno de seu próprio eixo. Ele é cerca de 4 minutos menor que as 24 horas de duração do dia solar. Essa diferença ocorre devido ao fato de o Sol, observado da superfície da Terra, não apenas se movimentar com relação ao

horizonte, mas também com relação às estrelas, atrasando-se cerca de 4 minutos por dia em relação a elas. Isso ocorre devido ao movimento de translação da Terra em torno do Sol, como veremos em mais detalhe na atividade 1.3.

Gire novamente seu campo de visão usando a tecla \rightarrow e veja o movimento das estrelas em relação aos horizontes oeste e norte. Note que, ao girar seu campo de visão com a grade equatorial ligada, você poderá ter a nítida sensação de estar, de fato, no interior de uma esfera celeste (cuja superfície é esboçada pela grade) com as estrelas fixas a ela, como os antigos imaginavam. Se conseguir ter esta percepção, isso ajudará bastante na compreensão desta atividade e na das seguintes. Veja como, ao se porem no horizonte oeste, as estrelas também descrevem trajetórias inclinadas com relação a este horizonte, e que, ao norte, não é possível visualizar o pólo norte celeste, pois ele fica abaixo do horizonte. Compare isso com a foto mostrada na figura 1.6. Note que as estrelas que aparecem mais próximas do ponto cardinal norte descrevem trajetórias bem pequenas e logo se põem, ficando bem pouco tempo acima do horizonte. De fato, há as estrelas que ficam mais próximas do pólo celeste norte, como a famosa Estrela Polar, que jamais aparecem acima deste seu horizonte. Por quê? Ora, porque você está no hemisfério sul da Terra e o seu plano do horizonte sempre encobre a região mais próxima do pólo norte celeste (que é a projeção, no céu, da pólo norte da Terra). Para quem está localizado no hemisfério norte da Terra, ocorre justamente o oposto: o pólo norte celeste fica acima do seu horizonte e o sul, abaixo. Esse observador jamais verá estrelas próximas ao pólo sul celeste. Em compensação, cada um destes observadores verá estrelas que ficam permanentemente acima do horizonte, são as chamadas **estrelas circumpolares**. Volte a visão do *Stellarium* para o sul e observe essas estrelas. A diferença é que, no sul, não temos nenhuma estrela brilhante bem próxima ao pólo celeste, enquanto que, no norte, bem junto ao pólo norte celeste, há a Estrela Polar. Mas temos o Cruzeiro do Sul, cujo braço maior sempre aponta em direção ao pólo sul celeste, como você pode visualizar no *Stellarium*, você o localizou? Caso não o tenha localizado, simplesmente use uma das diversas opções do menu inferior que permitem a identificação das constelações. Ele aparece indicado com o nome latino “Cruz”, de acordo com nomenclatura oficial adotada pela IAU (*International Astronomical Union*). Note que, na latitude de Vitória, ou de outras

localidades do Espírito Santo, as estrelas do Cruzeiro não chegam a ser circumpolares, mas passam a maior parte do tempo acima do horizonte, pois estão relativamente próximas do pólo sul celeste.

Outra observação interessante que pode ser feita nesta atividade é comparar o sentido em que se movem as estrelas que estão junto ao pólo sul celeste. Note que elas giram no sentido horário. E as que ficam próximas ao pólo norte celeste, em que sentido giram? Talvez você já consiga responder esta pergunta, mas vamos à próxima atividade, em que faremos uma viagem ao hemisfério norte.

1.3.3 O Céu em diferentes locais

Possivelmente você já ouviu falar que o céu visto de diferentes locais também é diferente. Por exemplo, o céu de visto de Paris é diferente do céu que é visto que no Rio de Janeiro. Será verdade? E o céu de Vitória, seria diferente daquele do Rio de Janeiro? De que depende esta variação?

O que acontece é que, ao observarmos o céu da superfície da Terra, supondo que façamos isso de um ponto com horizonte totalmente desimpedido, sem prédios ou árvores, o plano do horizonte sempre limitará nossa visão – só veremos metade da esfera celeste, a outra metade sempre ficará abaixo de nosso horizonte (figura 1.10). Como a Terra gira, descrevendo seu movimento de rotação em torno do próprio eixo, sempre haverá um “cone de invisibilidade” da esfera celeste que conterà estrelas que jamais serão visíveis daquele local. Note que apenas uma variação em longitude, sem alterar a latitude, não afetará este cone e a aparência do céu, exceto por uma defasagem no horário em que os mesmos astros serão visíveis acima do horizonte. Se quiser, posteriormente, verifique isso, usando o *Stellarium*.

Na atividade a seguir, como auxílio do *Stellarium*, poderemos visualizar melhor o efeito da variação do céu visível em função da latitude de local, além de outros fatos marcantes acerca do movimento dos astros quando observados da superfície da Terra.

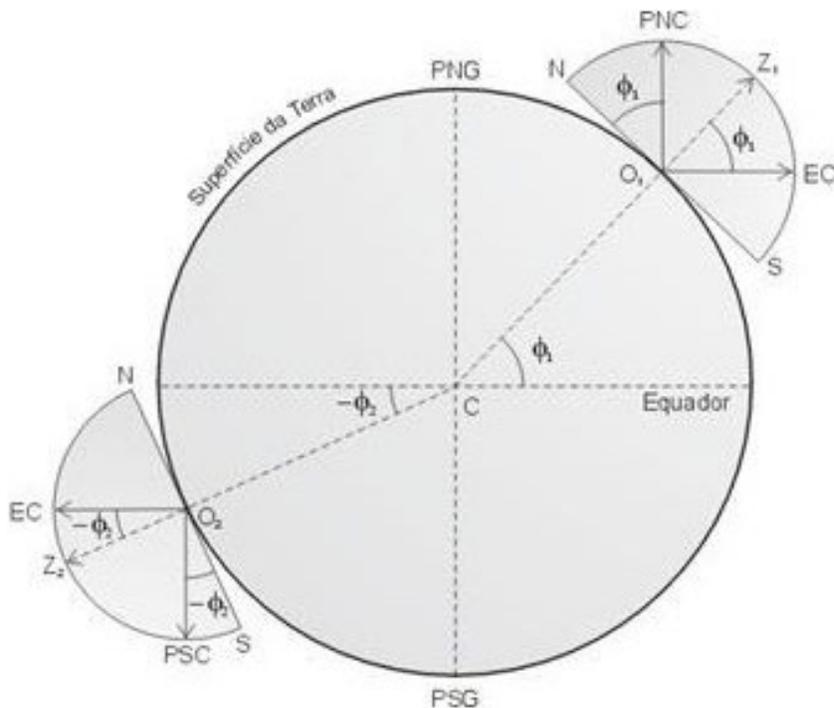


Figura 1.10: O plano do horizonte limita a visibilidade da esfera celeste de maneira distinta em locais situados em latitudes diferentes na superfície da Terra.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/livro_v1.pdf>.

► Atividade 1.2: O céu em diferentes latitudes

Reinicie o programa *Stellarium*. Se você tiver seguido as instruções do item 1.3.1, ele deve abrir mostrando o céu de sua localidade, no horário real do momento em que você o estiver utilizando e com o campo de visão voltado para o sul. Como na atividade anterior, será conveniente desligar o efeito atmosfera para poder visualizar as estrelas, mesmo durante o dia. Você pode fazer isso rapidamente apertando a tecla A. Ligue também a grade equatorial, teclando E, para visualizar a esfera celeste e o pólo celeste sul. Vamos agora viajar e ver como seria o céu visto de outro ponto da Terra, especialmente pontos situados em outras latitudes, mais ao sul, próximo ao pólo sul da Terra, e depois ao norte. Abra a janela da localização na barra de menu à esquerda. Arraste-a para baixo, mas deixando ainda visível o campo “Latitude”. Zere os minutos e segundos do campo “Latitude”, clicando em seus respectivos campos, digitando zero nos mesmos e teclando *Enter*. Depois clique sobre a posição em que são indicados os graus e, usando o botão ▼ da janela, ou a tecla ↓, vá aumentando, de um em um grau, a latitude sul da localidade. Note o que acontece com a posição do pólo sul celeste a medida que a latitude vai crescendo: a sua altura vai aumentando cada vez mais. Estrelas que estavam abaixo do horizonte sul, começam a aparecer e a ficarem cada vez mais altas. O pólo sul celeste acabará saindo

do seu campo de visão. Use então o recurso de *zoom*: feche a janela da localização e tecle Ctrl+↓ ou *Page Down* para fazer o *zoom out*, aumentando o campo de visão o suficiente para continuar visualizando o pólo. Abra novamente a janela da localização e prossiga aumentando a latitude até chegar a 90° sul. Pronto estamos no pólo sul da Terra! Onde está o pólo celeste? Se você tiver zerado os campos dos minutos e segundos na latitude, ele estará bem na vertical, sobre a sua cabeça, bem no zênite! No pólo você estará exatamente sobre o ponto onde o eixo de rotação “fura” a superfície da Terra, e seu prolongamento até o céu “furará” a esfera celeste bem no zênite. E o equador celeste? Ficará exatamente sobre o horizonte, já que fica a 90° do pólo.

Feche a janela da localização e acione a tecla L umas três vezes para acelerar a passagem do tempo (mas não muito) e observe qual será o movimento das estrelas. Percebeu que elas descrevem trajetórias paralelas à linha do horizonte e jamais nascem ou se põem? Todas as estrelas visíveis serão circumpolares! Em compensação você não verá nenhuma estrela do hemisfério celeste oposto. Note o sentido de giro das estrelas em torno do pólo sul celeste: como antes, elas giram no sentido horário. A Terra gira no sentido contrário.

Vamos agora viajar até o equador. Volte a passagem do tempo para a sua taxa normal, apertando a tecla K. Abra novamente a janela da localização e tecle ↑ repetidas vezes para ir reduzindo a latitude sul, de um em um grau, até chegar a zero. Observe como a altura do pólo celeste irá ficando cada vez menor, a medida que diminui a latitude. Quando a latitude chegar a zero, feche a janela da localização e use o *zoom in*, teclando Ctrl+↑ ou *Page Up*, para voltar a um tamanho normal do campo de visão (semelhante ao que você tem, logo que abre o programa). Percebeu que agora que você está no equador o pólo sul celeste está sobre o horizonte? Volte o campo de visão para o norte e veja que, com o pólo norte celeste, aconteceu a mesma coisa, também está sobre o horizonte. Olhe agora para o leste e acelere o tempo, apertando a tecla L umas 3 vezes para visualizar o movimento das estrelas. Note que agora suas trajetórias ao nascer são exatamente perpendiculares ao horizonte. Isso só acontece em localidades sobre o equador da Terra, como, por exemplo, na cidade de Belém do Pará, que está quase sobre o equador (latitude 1,5° sul).

Por fim, vamos viajar ao hemisfério norte. Aperte na tecla K para a que a taxa de passagem do tempo volte ao normal. Volte sua visão para o horizonte norte, abra a janela de localização, tecla ↑ e vá aumentando a latitude norte de um em um grau. Você verá a altura do pólo norte celeste aumentando gradualmente. Perceba a Estrela Polar praticamente em cima do pólo norte celeste. Isso facilita tremendamente a orientação com base nas estrelas, para quem vive no hemisfério norte. Continue a viagem até chegar ao pólo norte, na latitude 90°. Novamente você estará exatamente em cima de um dos pólos da Terra e o pólo celeste norte estará bem na vertical, no zênite. Acione agora a tecla L uma três vezes e observe o movimento das estrelas. Novamente elas descreverão trajetórias paralelas ao horizonte e jamais nascerão nem irão se pôr. Todas as estrelas visíveis serão circumpolares, mas você não verá nenhuma estrela do hemisfério sul celeste. Mais uma vez o equador celeste ficará exatamente em cima do horizonte. E quanto ao sentido de giro das estrelas em torno do pólo norte celeste? É anti-horário, exatamente o contrário do que ocorre em torno do pólo sul celeste.

Um outra observação interessante que pode ser feita nesta viagem de pólo a pólo é quanto à posição do Sol. Note que, numa mesma data ele só será visível a partir de um dos pólos e sua trajetória diária no céu será semelhante a das estrelas: não nascerá nem irá se pôr, mas será paralela ao horizonte. Apenas lentamente, a medida que ele se movimenta com relação às estrelas é que sua posição com relação ao horizonte irá mudando. Nos dias dos equinócios, quando ele estiver cruzando o equador celeste, ocorre a sua passagem de um hemisfério celeste para outro, gerando um “dia” claro de cerca de 6 meses no hemisfério para o qual estiver se deslocando e uma noite de 6 meses no hemisfério que estiver deixando. No equinócio subsequente a situação se inverte. Na próxima atividade examinaremos em detalhe esse movimento do Sol.

1.3.4 Movimentos do Sol

O Sol compartilha do movimento diário das estrelas: nasce no horizonte leste e se põe no oeste todos os dias, devido à rotação da Terra, contudo, há uma diferença importante: ele também, lentamente, se desloca com relação às estrelas, se “atrasando” em relação a elas, movendo-se no sentido de oeste para leste com relação às estrelas

e descrevendo uma trajetória na esfera celeste (enquanto as estrelas permanecem fixas com relação a ela, veja item 1.2.1.2), chamada “linha da eclíptica”, ou simplesmente “eclíptica”. Na próxima atividade, com auxílio do software *Stellarium*, vamos verificar em mais detalhe como é esse movimento do Sol.

► Atividade 1.3: O movimento anual do Sol

Reinicie o *Stellarium*. Volte seu campo de visão para o oeste e, apertando as teclas J ou L, adiante ou volte o tempo até um horário próximo das 16:00 horas. O Sol deve então aparecer no seu campo de visão, que está voltado para o oeste. Mais uma vez desative o efeito da atmosfera apertando a tecla A, para poder ver o Sol juntamente com as estrelas. Aperte então a tecla = cuja ação é adicionar exatamente um dia solar ao tempo, com isso você verá, instantaneamente, a posição do Sol à mesma hora, mas no dia seguinte. Aperte mais de uma vez a tecla e observe o deslocamento que ele sofre com relação às estrelas de fundo. Note que, a cada dia que passa, as estrelas vão ficando mais baixas em relação ao horizonte oeste, e acabam desaparecendo neste horizonte, enquanto que a altura¹⁶ do Sol não varia muito. Isso acontece porque a nossa hora legal e a duração do dia são baseadas no movimento diário do Sol, por isso, quando o olharmos no dia seguinte, no mesmo horário, sua altura é praticamente a mesma. O Sol, em média, gasta 24 horas entre duas passagens sucessivas pelo meridiano local¹⁷. Na verdade, por definição, a duração do dia, de exatamente 24 horas, corresponde ao tempo médio gasto pelo Sol, ao longo do ano, entre duas passagens sucessivas pelo meridiano local. Já as estrelas, como vimos na atividade 1.1, levam 4 minutos a menos, demorando cerca de 23 horas e 56 minutos entre duas passagens sucessivas pelo meridiano local, se adiantando em relação ao Sol. Por isso, quando somamos exatamente um dia solar ao tempo, teclando = no *Stellarium*, as estrelas aparecerão mais baixas no horizonte oeste. Elas sempre se adiantam em relação ao Sol e aparecerão mais baixas e mais a oeste em relação a ele, ou,

¹⁶ O conceito de altura, aqui e nas próximas páginas, é usado no sentido preciso definido no item 1.2.2.1, como uma das coordenadas do sistema horizontal local, veja a figura 1.8.

¹⁷ Veja a definição de meridiano local no item 1.2.2.1.

equivalentemente, usando as estrelas como referência, percebemos que o Sol se moveu, com relação a elas, no sentido contrário, de oeste para leste¹⁸.

Note também que, embora o maior movimento do Sol em relação às estrelas seja na direção leste-oeste, no sentido de oeste para leste, ele também se desloca na direção norte-sul, tanto em relação às estrelas como ao horizonte. A trajetória exata descrita pelo Sol na esfera celeste é muito bem definida e recebe o nome de eclíptica. Você pode visualizá-la no *Stellarium* apertando a tecla , (vírgula). Ligue também a grade equatorial, teclando E, para visualizar melhor a esfera celeste e a posição da eclíptica com relação a ela. Note que a eclíptica não é paralela aos paralelos celestes¹⁹, mas inclinada com relação a eles. Por esse motivo, além de se deslocar na direção leste-oeste, no sentido de oeste para leste, o Sol também se desloca na direção norte-sul, as vezes no sentido do sul para o norte, outras do norte para o sul. Aperte repetidas vezes a tecla = ou, se quiser andar mais rápido, a tecla] , que faz o tempo avançar de uma semana, para acompanhar este movimento do Sol na direção norte-sul.

Uma possibilidade interessante de observação do movimento do Sol ao longo da eclíptica por meio do *Stellarium* é você mudar sua localização para um dos pólos, quando então, como já vimos na atividade 1.2, o equador celeste ficará situado sobre o horizonte e você poderá perceber claramente a posição do Sol se deslocando em relação a este horizonte que coincide com o equador celeste. Para tanto continue com seu campo de visão voltado para o ponto cardeal oeste e mantenha o horário em torno das 16:00 horas, mas mude sua localização para um dos pólos, p. ex., o pólo sul da Terra, acessando a janela de localização na barra de menu que fica na lateral esquerda. Mantenha a grade equatorial, teclando E, retire o efeito atmosfera, teclando A, e o chão, teclando G (ground). Insira a eclíptica, teclando , (vírgula), e o equador celeste, teclando . (ponto).

¹⁸ Não confunda este pequeno movimento do Sol em relação às estrelas em um dia, no sentido de oeste para leste, com o seu movimento diário em relação ao horizonte devido à rotação da Terra, que é muito mais rápido e sempre ocorre no sentido de leste para oeste.

¹⁹ Veja a definição de paralelo celeste no item 1.2.2.2.

Procure deixar o equador alinhado horizontalmente no seu campo de visão, clicando com o botão esquerdo do mouse no centro da tela e arrastando. Você pode também desativar a indicação dos pontos cardeais – elas deixam de fazer sentido quando você está sobre um dos pólos da Terra – teclando Q. Acione então repetidamente as teclas = ou] para avançar no tempo um dia ou uma semana e observe o movimento no Sol na eclíptica com relação à esfera celeste (grade equatorial e estrelas).

Note que o movimento do Sol na direção norte-sul é um movimento cíclico (ao contrário do movimento para leste, que é sempre progressivo) e que, após atingir um deslocamento máximo ao norte, por volta do dia 21 de junho, retorna e atinge um afastamento máximo ao sul, por volta do dia 21 de dezembro. Os instantes em que ocorrem esses deslocamentos máximos, são denominados “**solstícios**”. No meio do caminho entre os solstícios, temos os instantes em que o Sol cruza o equador celeste, são os chamados “**equinócios**”, que ocorrem por volta dos dias 21 de março e 23 de setembro. Comprove isso usando a *Stellarium* (bem no pé da janela do programa sempre aparecem a data e a hora).

Vimos, antes, que o movimento diário das estrelas é explicado pela rotação da Terra em torno de seu próprio eixo e, neste ponto, cabe fazer uma outra pergunta que, possivelmente, você já se fez e talvez até já tenha respondido: esse curioso movimento cíclico que o Sol descreve na esfera celeste quando observado da Terra (referencial geocêntrico), movendo-se sempre para o leste, mas também para o sul e o norte, ao longo da eclíptica, está relacionado a qual movimento da Terra, quando observada desde um referencial heliocêntrico?

Ele nada mais é do que consequência do movimento de translação da Terra em torno do Sol. Como o período desse movimento do Sol na eclíptica é de um ano (na verdade é esse movimento que define o próprio ano), ele é denominado **movimento anual** do Sol.

Mas por que, além de se deslocar na direção leste-oeste, o Sol também faz essa dança, acima e abaixo do equador celeste, na direção norte-sul?

É uma consequência do fato de o eixo de rotação da Terra ser inclinado em relação ao plano de sua órbita em torno do Sol. Note que dizer “acima e abaixo do equador celeste” é o mesmo que dizer “acima e abaixo do plano do equador da Terra” – lembre que o equador celeste nada mais é do que a projeção do equador da Terra no céu/esfera celeste –, portanto, como o eixo terrestre é inclinado cerca de $23,5^\circ$ em relação à direção perpendicular ao plano de sua órbita e a orientação deste eixo se mantém constante (sempre paralela à mesma direção) enquanto a Terra gira em torno do Sol, isto faz com que, durante cerca de metade do ano, o Sol esteja ao norte deste plano (ao norte do equador celeste), enquanto que, na outra metade, estará ao sul (ao sul do equador celeste). Em dois instantes, o centro do Sol ficará sobre o plano do equador da Terra (sobre o equador celeste) – estes instantes serão os equinócios.

É fácil perceber a relação deste fato com o maior ou menor aquecimento da cada hemisfério da Terra pelo Sol e, portanto, com as estações do ano: quando o Sol estiver ao norte do equador celeste, iluminará e aquecerá mais o hemisfério norte da Terra, e menos o sul; quando o Sol estiver ao sul, iluminará e aquecerá mais o hemisfério sul, e menos o norte. De fato, os solstícios e equinócios são usados para marcar o início das estações do ano na Terra, que ocorrem de maneira alternada em seus dois hemisférios. Em geral, temos:

21 de março: equinócio da primavera para o hemisfério norte, de outono para o sul;

21 junho: solstício de verão para o hemisfério norte, de inverno para o sul;

23 de setembro: equinócio de outono para o hemisfério norte, de primavera para o sul;

21 de dezembro: solstício de inverno para o hemisfério norte, de verão para o sul.

As datas exatas podem variar um pouco em torno das acima indicadas, devido ao fato de a duração do ano não corresponder a um número inteiro de dias, mas sim cerca de 365 dias e um quarto, e a consequente necessidade de introdução de anos bissextos.

A linha da eclíptica também tem uma relação direta com a órbita da Terra em torno do Sol: como o centro do Sol sempre está sobre o plano que contém a órbita da Terra, o caminho do Sol entre às estrelas, quando observado da Terra, corresponde à linha de intersecção entre este plano e a esfera celeste, ou seja a linha da eclíptica é a linha de intersecção do plano da órbita terrestre com a esfera celeste. Por este motivo, o próprio plano da órbita da Terra também é denominado “**plano da eclíptica**”.

Por fim, explorando mais um pouco a visualização proporcionada pelo *Stellarium*, ligue a opção de apresentação dos nomes das constelações e das figuras mitológicas a elas associadas, tecendo R e V, e veja por onde o Sol passa em seu caminho pelo eclíptica, acionando a tecla]. Esta faixa do céu, em torno da eclíptica, é denominada “**faixa do zodíaco**”. Nela encontramos as famosas e tradicionais doze constelações zodiacais, que deram origem aos signos da Astrologia. Verifique. Ao realizar as atividades sobre os movimentos da Lua e dos planetas, a seguir, veremos que esta é uma região muito importante do céu.

1.3.5 Movimentos da Lua

Assim como o Sol, a Lua também compartilha com as estrelas o movimento diário, nascendo a leste e se pondo a oeste, contudo, de maneira semelhante ao Sol, ela também se desloca com relação às estrelas, e muito! A Lua, assim como o Sol, também é um “**planeta**” no sentido que os antigos gregos davam a esta palavra, que significa “**astro errante**”, devido ao fato de não ficarem fixos no firmamento, mas se deslocarem entre as estrelas. Num único dia, o deslocamento da Lua é de cerca de 13° na direção leste-oeste e no mesmo sentido que o Sol, de oeste para leste²⁰. Seu movimento em relação às estrelas é o mais rápido de todos os astros. Numa única noite ele é perfeitamente perceptível, ocorrendo com uma velocidade de cerca de $0,5^\circ$ a cada hora. Como, por coincidência, o diâmetro angular da Lua, quando vista da Terra, também é de $0,5^\circ$, isso quer dizer que, a cada hora, ela sofre um deslocamento

²⁰ Mais uma vez, não confunda estes movimentos da Lua e do Sol em relação às estrelas, que ocorrem no sentido de oeste para leste, como o movimento diário, muito mais rápido, que descrevem no sentido de leste para oeste em relação ao horizonte, juntamente com as estrelas, todos os dias nascendo a leste e se pondo a oeste, devido à rotação da Terra.

angular aproximadamente igual ao seu próprio diâmetro angular. Você pode observar isso perfeitamente numa noite em que a Lua esteja visível, quando ela estiver passando próximo a alguma estrela brilhante ou constelação de fácil reconhecimento: marque a posição que a Lua ocupava com relação às estrelas num dado instante. Depois de cerca de uma hora volte a observá-la novamente. Será fácil perceber que ela se deslocou cerca de um diâmetro lunar durante este tempo.

Vejamos, a seguir, o que mais podemos aprender sobre o movimento da Lua, usando o *Stellarium*.

► Atividade 1.4: O movimento mensal da Lua

Reinicialize o *Stellarium*. Desligue o efeito atmosfera, teclando *A*, para ver as estrelas e a Lua, mesmo de dia. Como, ao inicializar, o seu campo de visão está voltado para o sul, você não deve estar vendo a Lua. Como você não sabe onde a Lua está²¹, desta vez utilize o recurso de busca do *Stellarium*: vá até a barra de menu na lateral esquerda e abra a janela de busca (*Search window*). No campo de busca desta janela digite *Moon* (Lua em inglês) e dispare a busca. O programa irá buscar a Lua, marcá-la e centralizar nela o campo de visão. Note que, após o programa fazer isso, talvez você esteja olhando para o chão! Por quê? Ora, porque pode acontecer de a Lua ainda não ter nascido e, portanto, ainda estar abaixo do horizonte. Na hora de o programa centralizar o campo na posição em que ela se encontra, ele mostrará o chão. Mas o *Stellarium* tem vários recursos, um deles é o de retirar o chão, teclando *G* (*ground*). Faça isso, caso tenha acontecido de você estar visualizando o chão. Pronto! Você verá a Lua como se a Terra fosse transparente e você pudesse enxergar, através dela, pontos abaixo da linha do horizonte. Fantástico!

²¹ Como foi dito antes, a Lua se move muito rápido, está sempre mudando de posição. Seus horários de nascimento e ocaso variam todo dia. Somente se você já tivesse em mãos uma informação sobre a fase em que ela se encontra, seria possível conhecer estes horários e, a partir deles, ter uma idéia da sua posição. P. ex., se o dia fosse de Lua Cheia, ela nasceria em torno das 18 h e se poria por volta das 6 h, ficando a noite inteira no céu, mas isso só acontece na Lua Cheia.

Para prosseguir na atividade e visualizar o movimento da Lua, será interessante ter algumas referências por perto. Por isso, usando as teclas J ou L, atrase ou adiante o tempo de modo que a Lua fique logo acima do horizonte, de preferência a oeste, por uma razão que você já vai ficar sabendo. Note que, mesmo com o chão “desligado”, o *Stellarium* mostra, de maneira tênue, a linha do horizonte, e você também tem os pontos cardeais sendo mostrados, em letra vermelha, para poder saber onde está o horizonte e qual ele é. Quando você usar as teclas J ou L, como a Lua está marcada e o campo nela centralizado, ao acioná-las você retardará ou acelerará o tempo, mas o programa manterá a Lua no centro (ela será o referencial) e o que você verá será a linha do horizonte subindo ou descendo. Quando a Lua estiver um pouco acima do horizonte oeste, volte o tempo à sua passagem normal, teclando K. Tecele novamente G para que o solo apareça e você passe a tê-lo como referência. Aproveite que a Lua está marcada e faça um *zoom in* para vê-la mais de perto e saber em que fase ela se encontra. Para isso use a tecla / (ela só funciona, fazendo *zoom in* se o objeto estiver marcado). Depois volte à visão normal, teclando \ .

Agora chegamos ao ponto principal da atividade: com a Lua um pouco acima do horizonte oeste, primeiro desmarque a Lua (senão ela continuará centralizada), clicando em qualquer ponto da tela com o botão direito do mouse, depois tecele = para adiantar o tempo de um dia solar. Você verá então a posição em que a Lua se encontrará, no mesmo horário, mas no dia seguinte. Note o seu grande deslocamento com relação ao horizonte e às estrelas, aumentando muito a sua altura. Tecele - , para retornar ao dia anterior. Faça isso mais de uma vez, avançando e retrocedendo um dia solar no tempo, para observar bem o deslocamento da Lua em apenas um dia. Como dissemos antes, ele é notável, cerca de 13° na esfera celeste.

Você pode notar também um pequeno deslocamento das estrelas em relação ao horizonte: elas estarão um pouco mais baixas no horizonte oeste a cada dia que passa, se as observarmos sempre na mesma hora. Já vimos este efeito e sua explicação na atividade anterior, sobre o movimento do Sol: é que nosso horário é baseado no Sol, e todos os dias as estrelas se adiantam cerca de quatro minutos em relação ao Sol. Se num dado dia e num certo horário, digamos às 20:00 h, observarmos uma constelação junto ao horizonte oeste, no dia seguinte, à mesma hora, ela já estará um pouco mais baixa, e assim sucessivamente a cada dia que

passa, até que desaparecerá atrás do horizonte e não será mais visível às 20:00 h. É fácil verificar isso com o *Stellarium*.

Mas voltemos nossa atenção para a Lua. Em qual sentido ela se desloca com relação às estrelas? Como você está observando o horizonte oeste e a Lua, de um dia para o outro, aparece cada vez mais alta, se afastando deste horizonte, concluímos que ela está se movendo no sentido de oeste para leste. Comece na posição em que a Lua está junto ao horizonte oeste e tecla = mais de uma vez, para avançar mais de uma dia. Provavelmente na terceira vez que você teclar a Lua já sairá de seu campo de visão, tão grande é o seu deslocamento para leste. Note que este sentido, de oeste para leste, é o mesmo em que o Sol também se movimenta em relação à esfera celeste. O tempo que a Lua leva para completar um ciclo nesse movimento, dando uma volta completa na esfera celeste, é denominado **período sideral** da Lua, ou **mês sideral**, e tem uma duração aproximada de 27,3 dias. Ele corresponde ao período de translação da Lua em sua órbita em torno da Terra.

O movimento da Lua em relação às estrelas (esfera celeste) acontece só na direção leste-oeste ou também na direção norte-sul, como o Sol? Verifique isso usando o *Stellarium*: insira a grade equatorial, teclando E, e alterne a posição da Lua em dois dias distintos, à mesma hora, teclando = (para avançar um dia) e - (para retornar um dia). Ela se move paralelamente aos paralelos celestes, ou não? É possível verificar que ela acaba cruzando os paralelos celestes, ou seja, embora ela apresente um deslocamento maior direção na direção leste-oeste, também se desloca um pouco na direção norte-sul. Por quê? Pela mesma razão que o Sol, conforme discutido na atividade 1.3: o plano da órbita da Lua em torno da Terra é quase coincidente com o plano da órbita da Terra em torno do Sol (são inclinados de apenas 5°, um em relação ao outro), mas o eixo de rotação da Terra é inclinado em relação à perpendicular ao plano de sua órbita cerca de 23,5°. Como no caso do Sol, isso faz com que a Lua as vezes fique acima do plano do equador da Terra, outras abaixo, a medida que ela descreve sua órbita em torno de nosso planeta. Portanto, quando observada da Terra, a veremos se deslocando também na direção norte-sul, às vezes no sentido do norte para o sul, outras no sentido do sul para o norte, num movimento cíclico, como o Sol.

O fato de o plano da órbita da Lua em torno da Terra ser quase coincidente com o da órbita da Terra em torno do Sol também tem uma

consequência interessante: sempre veremos a Lua próxima à linha de eclíptica. No máximo ela se afastará 5° desta linha, que é o ângulo entre os planos das órbitas da Lua e da Terra²². Verifique isso no *Stellarium*: teclando `,` (vírgula) para visualizar a eclíptica, marque a Lua, clicando nela com o botão esquerdo do mouse, e centralize o campo nela, teclando a barra de espaço, para poder acompanhá-la à medida que ela se desloca na esfera celeste. Faça, então, avanços ou retrocessos de um dia no tempo, teclando `=` ou `-`, e observe o movimento da Lua com relação à linha eclíptica. Como ela nunca se afasta muito dessa linha, ela sempre se moverá sobre a faixa do céu centrada na eclíptica – o zodíaco. A Lua sempre será encontrada na faixa do zodíaco e se moverá sobre as constelações desta faixa.

1.3.6 Movimentos dos planetas

Possivelmente você já ouviu falar que os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, com este situado num dos focos da elipse, como diz a 1ª Lei de Kepler, e isso está correto, porém este é um movimento que só é observado quando se adota um referencial heliocêntrico. Mas quando os observamos da superfície da Terra, referencial de onde efetivamente fazemos nossas observações, o que vemos? Os planetas descrevendo elipses no céu?

Não é o que devemos esperar, pois, como dissemos no início da seção 1.2, a Física nos ensina que todo o movimento sempre é relativo, ou seja, depende do referencial usado para observá-lo. Se adotarmos a superfície da Terra como referência (somos forçados a isso, pois estamos presos a ela), e não o Sol, o que veremos? Primeiramente, assim como no caso do Sol e da Lua, veremos que os planetas compartilham do movimento diário da esfera celeste, nascendo a leste e se pondo a oeste, devido à rotação da Terra, mas, como o Sol e a Lua, eles também apresentam movimentos com relação às estrelas, e bem mais complicados! Eles são astros errantes. Como já dissemos anteriormente, a palavra “planeta” em sua origem grega, significa “errante”, “que vaga”. Mais uma vez, usaremos o *Stellarium* para visualizar quais são suas trajetórias na esfera celeste.

²² Como vimos, a eclíptica, definida como sendo o caminho do Sol na esfera celeste, corresponde também à linha de intersecção entre o plano da órbita da Terra e a esfera celeste, ou seja, podemos encará-la como sendo a projeção da órbita da Terra na esfera celeste.

► Atividade 1.5: O movimento enigmático dos planetas

Reinicialize o *Stellarium*. Para facilitar a visualização, mude a sua localização para um dos pólos da Terra. Vamos ao pólo norte desta vez. Para tanto abra a janela de localização. Para ir mais rápido, clique no mapa, bem ao norte, onde deve estar o pólo. Se o indicador de latitude ainda não estiver indicando N 90° 0' 0.00", aumente a latitude clicando usando a tecla ↑, o botão ▲ da janela de localização ou digitando diretamente N 90° 0' 0.00" no campo da latitude e dando Enter. Relembre que, ao se situar no pólo, o equador celeste coincidirá com a linha do horizonte. Se quiser ressaltá-lo, tecele . (ponto) que surgirá um linha azul mais forte mostrando sua localização. Desabilite a indicação dos pontos cardeais teclando Q. Como já dissemos, essa indicação não faz sentido se você estiver exatamente sobre o pólo. Retire a atmosfera e o solo, teclando A e G. Ligue a grade equatorial teclando E, para que você tenha uma boa referência fixa na esfera celeste. Pronto, você pode se imaginar bem sobre o pólo norte da Terra, acima da atmosfera, contemplando um céu totalmente desimpedido.

Vamos começar visualizando o movimento de Mercúrio, que é o mais rápido dos planetas, por ser o mais próximo ao Sol²³. Vamos escolher uma data e ponto de referência na esfera celeste que nos permita acompanhar bem o movimento descrito por Mercúrio durante algumas semanas. Nossa referência será a estrela Procyon, a alfa da constelação do Cão Menor (*Canis Minoris*, em latim): abra a janela de busca (*Search Window*) na barra de menu na lateral esquerda, ou simplesmente teclando Ctrl+F. Digite "Procyon" no campo de busca e dê *Enter*, ou clique na lupa que o *Stellarium* irá localizar Procyon, marcá-la e nela centralizar o campo de visão. Mude a data para o dia 20 de junho de 2012, abrindo a janela de data e hora (*Date and Time*) na barra de menu na lateral esquerda. Note que, nesta janela, a indicação de data está na sequência ano/mês/dia. Use os botões da janela para fazer a data chegar em 2012/6/20. Não se preocupe com a hora, ela não fará muita diferença. Feche a janela de data e observe o seu campo de visão: o Sol está acima à direita e Mercúrio bem acima de Procyon, que deve estar marcada²⁴. Vale a pena destacar

²³ Na mitologia greco-romana Mercúrio é o deus mensageiro, muito veloz.

²⁴ Se não estiver, marque-a clicando com o botão esquerdo do mouse sobre ela e teclando a barra de espaço para nela centralizar o campo. Ela será a nossa referência.

Mercúrio: abra a janela “Céu e opções de visualização” (*Sky and viewing options window*) na barra de menu da lateral esquerda. Na aba *Sky* (a janela já deve abrir nela), no grupo de opções *Planets and satellites*, deixe marcados os itens *Show planets* e *Show planets markers*. Feche a janela. O planeta Mercúrio deverá estar marcado com um círculo à sua volta e seu nome escrito ao lado.

Antes de começar a movimentar o planeta, manipulando o tempo, vale a pena explorar um pouco mais o campo de visão:

Note que a Lua (*Moon*) está por perto, à direita de Mercúrio e próxima ao Sol. Em que fase ela está, já que a estamos vendo quase alinhada ao Sol? Pense... Já sabe a resposta? Vamos conferir: marque a Lua, clicando nela com o botão esquerdo do mouse, e faça um *zoom in* teclando / . Acertou a resposta? A Lua está na fase de Lua Nova. Como ela está quase alinhada e à frente do Sol, a face dela voltada para nós é justamente a sua face que está na sombra, portanto, Lua Nova.

Vamos agora dar uma olhada nas constelações: clique nas opções *Constellation art* e *Constellation labels* da barra de menu inferior, ou simplesmente tecle R e V, que surgirão no campo de visão os desenhos das figuras mitológicas associadas às constelações e seus respectivos nomes, em latim. Veja que Mercúrio e a Lua estão na constelação de Gêmeos e Procyon na constelação do Cão Menor. À direita temos Órion, o gigante caçador, com três estrelas alinhadas, popularmente chamadas “As Três Marias” marcando sua cintura. As estrelas brilhantes Betelgeuse e Rigel marcam o ombro direito e o pé esquerdo de Órion. Outras duas estrelas, um pouco menos brilhantes, indicam o ombro esquerdo e o pé direito do gigante, ajudando a definir, junto com Betelgeuse e Rigel, um quadrilátero que contém as Três Marias em seu centro. Órion é tida como a constelação mais bela do céu, sendo uma constelação típica do céu de verão no hemisfério sul. Tente identificá-la no céu no início de uma noite de verão, usando as Três Marias e o quadrilátero de estrelas como referência. Não é difícil.

Tecla , (vírgula) para também mostrar a linha da eclíptica e tê-la como referência. Note que, neste campo de visão, ela está passando pelas constelações zodiacais do Touro, Gêmeos, Câncer e Leão. O centro do Sol, por definição, sempre está sobre esta linha, mas observe que também a Lua e Mercúrio estão próximos a ela. Quando aparecerem

outros planetas você poderá verificar que também eles se mantêm próximos à eclíptica, sempre percorrendo o céu na faixa do zodíaco. Qual a razão para que isso aconteça? Lembre que a linha da eclíptica também corresponde à projeção da órbita da Terra na esfera celeste: é a intersecção do plano da órbita da Terra, também chamado “plano da eclíptica”, com a esfera celeste. Se as trajetórias de todos os demais planetas, bem como a da Lua, na esfera celeste se situam sempre próximas a essa linha, forçosamente isso significa que as órbitas de todos os demais planetas e da Lua situam-se em planos bem próximos ao plano da eclíptica. De fato, essa é uma das características mais marcantes do arranjo espacial dos planetas do nosso sistema solar: as órbitas de todos os planetas são praticamente coplanares, isto é, situam-se, todas elas, muito próximas do mesmo plano, muito próximas do plano da eclíptica, que costuma ser usado como referência. Este importante dado observacional é uma forte evidência a favor da teoria de formação dos planetas a partir de um disco de matéria (gás e poeira) que girava em torno do Sol primitivo: como se formaram a partir de um mesmo disco, situado num plano bem definido, todos os planetas mantiveram suas órbitas aproximadamente sobre este mesmo plano.

Finalmente, vamos visualizar o movimento de Mercúrio: mantenha todas as referências ligadas (eclíptica, equador celeste, grade equatorial, constelações), Procyon marcada e centralizada e a data no dia 20 de junho de 2012. Adicione, então, um dia solar ao tempo, tecando = . Veja que a Lua se movimenta muito (já vimos isto na atividade anterior) e Mercúrio também, apresentando um deslocamento bem perceptível em apenas um dia. Continue tecando = várias vezes e vá acompanhando o deslocamento de Mercúrio. A Lua rapidamente desaparecerá do campo de visão. Daqui a cerca de um mês ela estará de volta. Mercúrio vai se deslocando da constelação de Gêmeos para a de Câncer. Em que sentido ele está se movendo? O mesmo da Lua e do Sol, para leste em relação às estrelas. Neste campo de visão o norte está para cima, o sul para baixo, o leste à esquerda, o oeste à direita²⁵.

²⁵ Note que o leste e o oeste parecem invertidos em relação ao que vemos em mapas da Terra. A diferença é que este não é um mapa (imagem) da Terra, mas do céu e, quando olhamos para o alto, se o norte estiver, p. ex., nas nossas costas, o sul estará na nossa frente, o leste à esquerda, o oeste à direita. Verifique.

Por volta do dia 02 de julho²⁶, Mercúrio já estará bem no centro da constelação de Câncer, o Sol estará em Gêmeos. Mercúrio continua se movendo para leste, mas continue avançando mais alguns dias e verifique que o movimento de Mercúrio passa a se alterar: ele reduz sua velocidade para leste e começa a descer para o sul. Por volta do dia 14 de julho ele pára de se mover para leste, ainda se move para o sul e passa a se mover para o oeste, invertendo o sentido de seu movimento na direção leste-oeste! Este é um exemplo do chamado movimento retrógrado de Mercúrio, que também é apresentado por todos os demais planetas: embora todos eles tenham um movimento predominante de deslocamento para o leste, em relação às estrelas, em determinadas épocas eles invertem este sentido e seguem para o oeste. Vamos continuar acompanhando a movimentação de Mercúrio, avançando o tempo de um em um dia. Note que a Lua voltou. No dia 20 de julho ela passa bem próxima a Mercúrio e rapidamente vai embora. Note que à direita também já aparece o planeta Vênus, na constelação de Touro, se movendo para leste. Por volta do dia 28 de julho, Mercúrio é ultrapassado pelo Sol e ainda se move para oeste. Somente por volta do dia 07 de agosto ele pára de se mover para oeste, move-se um pouco para o norte, reaproximando-se da eclíptica, e passa a retomar seu movimento para leste, seguindo o Sol que já vai entrando na constelação do Leão.

Vale a pena utilizarmos o recurso do *Stellarium* de marcarmos o caminho descrito pelos planetas para visualizarmos a trajetória exata descrita por Mercúrio durante estas semanas que o observamos. Volte a data para o dia 20 de junho de 2012 (use a tecla [para voltar mais rapidamente, de semana em semana). Tecele Shift+T para que os planetas deixem os seus rastros e vá aumentando o tempo de um em um dia, teclando = , para registrar a trajetória. Prossiga até o final do mês de agosto, por volta do dia 25, e veja o resultado: o planeta Mercúrio deu uma laçada no céu! Você deve ter obtido um resultado semelhante ao indicado na figura 1.11. Você também pode salvar num arquivo a imagem exibida na tela do *Stellarium*: Tecele Ctrl-S e a imagem que você obteve com a simulação do movimento retrógrado de Mercúrio será gravada na área de trabalho do seu computador.

²⁶ Note que a data e a hora sempre aparecem indicadas bem embaixo na janela do *Stellarium*.

Como dissemos antes, não é só Mercúrio que realiza este tipo de movimento, todos os demais planetas também o fazem! As vezes eles não chegam a fechar a laçada, mas fazem um ziguezague (movimento em forma de Z) no céu, durante o movimento retrógrado²⁷. Como explicar esse estranhíssimo movimento apresentado pelo planetas? Ainda mais se considerarmos que a duração e a forma exata da trajetória descrita durante o movimento retrógrado, laçada ou ziguezague, é bastante variável? Você percebe o imenso trabalho que este enigma deu aos astrônomos, durante séculos, para desvendá-lo?

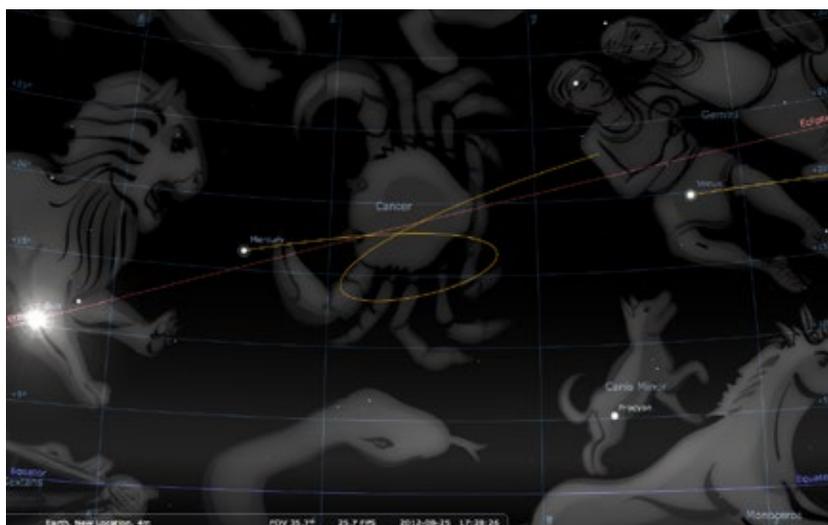


Figura 1.11: Tela do *Stellarium* mostrando a trajetória na forma de laçada executada pelo planeta Mercúrio na esfera celeste entre os dias 20 de junho a 25 de agosto de 2012.

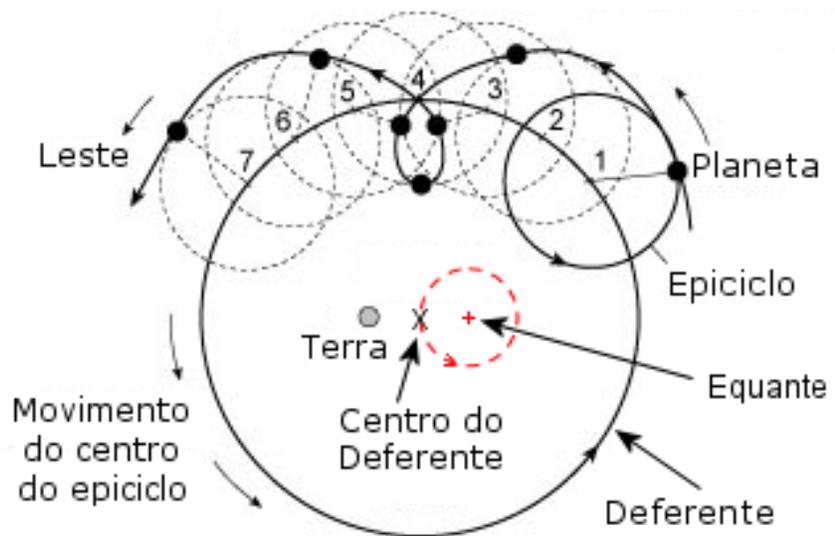
Na antiguidade foi formulado um engenhoso modelo geocêntrico, proposto inicialmente por Hiparco, que viveu em Rodas, no século II a.C., e foi aprimorado por Cláudio Ptolomeu, de Alexandria, por volta do século II d.C., tendo sido publicado em seu famoso tratado sobre Astronomia, conhecido por *Almagesto*, que foi a maior e mais influente referência sobre Astronomia da Antiguidade, sendo utilizada por europeus e árabes durante séculos (ZEILIK, 1997; MARTINS, 1994).

²⁷ Mais uma vez chamamos a atenção para não confundir este movimento que é descrito com relação às estrelas, ao longo de vários dias, com o movimento diário do astros, que é muito mais rápido e sempre ocorre de leste para oeste. Jamais veremos um movimento retrógrado, uma laçada ou um Z no céu descritos por um planeta numa única noite. No *Stellarium* estamos usando o artifício de aumentar o tempo um dia inteiro de cada vez, deixando a esfera celeste parada. No movimento em relação ao horizonte, o planeta e a esfera celeste já teriam dado uma volta completa num dia solar.

Para explicar o movimento retrógrado dos planetas, este modelo fazia uso de dois principais elementos: os “deferentes” e “epiciclos”. O epiciclo era uma circunferência menor, sobre a qual se movimentava o planeta, e o deferente, uma circunferência maior, centrada, ou quase centrada, na Terra, sobre a qual o centro do epiciclo se movimentava. Com a composição destes dois movimentos: do planeta sobre o epiciclo e do centro do epiciclo sobre o deferente, era possível reproduzir um movimento retrógrado (figura 1.12). Em verdade o modelo era mais elaborado: para explicar a velocidade variável dos planetas na esfera celeste, Hiparco e Ptolomeu, consideravam a possibilidade de a Terra não estar situada exatamente no centro do deferente, mas um pouco fora do centro. O deferente era então “excêntrico”. Além disso, para dar conta das variações que haviam no próprio movimento retrógrado, Ptolomeu também supôs que, simetricamente disposto à posição da Terra em relação ao centro do deferente, havia um ponto – o equante – em relação ao qual o movimento angular do planeta seria uniforme, enquanto que, visto da Terra, não o seria, o que explicaria as variações.

Figura 1.12: Modelo geocêntrico que explica o movimento retrógrado de um planeta por meio da composição de um movimento do planeta sobre um epiciclo e do centro do epiciclo sobre um deferente.

Fonte: <http://www.luispontes.com/ast_e.html#epiciclos>



A engenhosidade deste modelo e a razoável precisão das previsões nele baseadas com relação às posições planetárias (erro de no máximo 5°, bastante bom para a época) fez com que ele fosse adotado durante séculos na Antiguidade e durante toda a Idade Média.

Contudo, hoje sabemos muito bem que o modelo correto para o sistema solar não é o geocêntrico, mas o heliocêntrico. A luz deste

modelo, como se explicam as laçadas ou ziguezagues feitos pelos planetas em seus movimentos retrógrados?

A explicação acaba sendo bem mais simples e elegante que no caso do modelo geocêntrico, sem a necessidade introdução de epiciclos, deferentes, círculos excêntricos e equantes – o que foi um bom motivo que favoreceu a adesão ao modelo heliocêntrico proposto por Copérnico²⁸ em detrimento do modelo geocêntrico.

Trata-se apenas de uma questão de movimento relativo: no modelo heliocêntrico, todos os planetas, inclusive a Terra, giram em torno do Sol, só que o fazem com velocidades variáveis: quanto mais distante o planeta, mais lento é seu movimento. Sendo assim, sempre haverá momentos em que a Terra será “ultrapassada” por um planeta mais rápido, interno à sua órbita, como Mercúrio ou Vênus, e outros em que a Terra “ultrapassará” um planeta externo à sua órbita (Marte, Júpiter ou Saturno, considerando apenas os planetas visíveis a olho nu, conhecidos desde a Antiguidade). Nestes momentos de ultrapassagem, tanto no caso de planetas externos como de internos, o movimento que a projeção do astro na esfera celeste realizará terá seu sentido invertido, e a trajetória do planeta com relação às estrelas distantes (esfera celeste), quando vista da Terra, apresentará uma laçada ou ziguezague (figura 1.13)

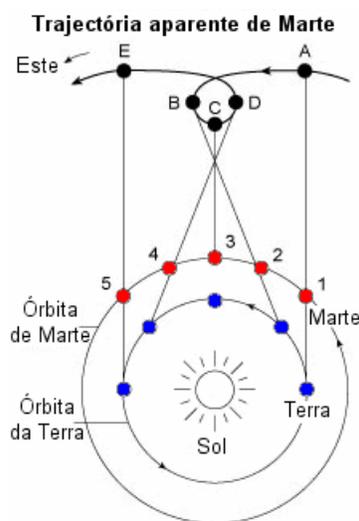


Figura 1.13: Movimento retrógrado de Marte: ele é produzido em consequência do movimento relativo de Marte (mais lento) com relação à Terra (mais rápida): no momento em que a Terra ultrapassa Marte, o sentido de seu movimento, com relação às estrelas distantes (esfera celeste), se inverte e sua trajetória, vista da Terra, dá uma laçada, ou faz um ziguezague no céu. No caso de um planeta interno à órbita da Terra, que é mais rápido que ela, como Mercúrio, o mesmo efeito acontece quando o planeta interno ultrapassa nosso planeta. É possível perceber isso a partir do diagrama acima simplesmente invertendo a ordem e considerando que a Terra é o planeta externo, em vermelho, e Mercúrio o planeta interno, em azul, imaginando a projeção da linha de visada na esfera celeste no sentido oposto.

²⁸ Copérnico apresentou seu modelo heliocêntrico de universo em sua obra *De revolutionibus orbium coelestium* (“Da revolução das esferas celestes”), publicada no ano de sua morte, em 1543.

Fonte: <www.luispontes.com/ast_r.html#retrogradacao>.

Com esta atividade sobre o movimento dos planetas, encerramos nossa série de cinco atividades utilizando o software *Stellarium*²⁹. Ao longo delas fizemos uso de grande parte dos recursos básicos oferecidos pelo programa. Você pode continuar a explorá-lo e a utilizá-lo, futuramente, seja por interesse próprio ou com fins didáticos, para o trabalho com estudantes, como foi feito aqui. Uma vez dominados seus recursos você pode criar seus próprios roteiros de atividades. Nesta série buscamos mostrar a grande utilidade do programa para um trabalho de iniciação à Astronomia que tem como tema a observação, descrição e explicação dos movimentos dos astros a partir de um referencial local, da superfície da Terra, ou seja, do que realmente observamos através desta nossa janela para o universo que é o céu do nosso planeta. Uma aplicação interessante que não usamos, mas será explorada nas atividades recomendadas que seguem ao final deste capítulo, é a simulação de eclipses lunares e solares. Nessas simulações se destaca aquilo que é um dos pontos fortes do *Stellarium*: o grande realismo das imagens, muito semelhantes ao que, efetivamente, é observado no céu. Outro uso interessante do *Stellarium*, que foi pouco explorado nesta nossa série de atividades, é sua utilização como auxílio ao reconhecimento do céu. Com ele é possível saber exatamente o que estará visível no céu de sua localidade a qualquer hora, do dia ou da noite. Você pode usá-lo como ferramenta para identificar e localizar constelações, estrelas, planetas e outros objetos visíveis a olho nu, ou com telescópios. O céu real ainda é muito mais belo que o virtual. Aprecie sua beleza e aproveite para ampliar o conhecimento que dele você tem, usando o *Stellarium* como apoio. Boas observações!

A seguir recomendamos uma série de atividades que complementam e aprofundam o conteúdo que abordamos neste capítulo, especialmente as apresentadas no livro “O Céu” do Prof. Rodolpho Caniato (1993), que utiliza um modelo de esfera celeste de vidro, feito com um balão de fundo redondo utilizado em laboratórios de Química. Depois apresentamos uma série de questões que você deverá responder com base no que aprendeu. Se necessário, para tirar dúvidas a respeito delas, você pode recorrer novamente às simulações realizadas com o *Stellarium* e/ou com o modelo de esfera celeste proposto por Caniato.

²⁹ Nas atividades complementares será indicada mais uma interessante atividade com o *Stellarium*, envolvendo simulações de eclipses.

1.4 ATIVIDADES COMPLEMENTARES

1.4.1 Atividades propostas no capítulo 2 do livro "O Céu"

É fortemente recomendável uma leitura atenta do Capítulo 2 – Olhando para o Céu, do Prof. Rodolpho Caniato (1993) e a realização das atividades práticas por ele sugeridas, especialmente as que utilizam um modelo tridimensional de esfera celeste feito com um balão de vidro de fundo redondo, utilizado em laboratórios de Química. As atividades são as seguintes:

Atividade 2.1 – O Gnômon: atividade que mostra como determinar os pontos cardeais e o meridiano local (veja definição no item 1.2.2.1) a partir da observação da sombra projetada para uma haste vertical sobre uma superfície plana (gnômon).

Atividade 2.2 – O movimento diurno aparente das estrelas: atividade que explora o conceito de esfera celeste e o movimento diurno das estrelas, utilizando o modelo de esfera celeste feito com balão de vidro de fundo redondo

Atividade 2.3 – Posições do Sol durante o dia: registro e análise gráfica do movimento diurno do Sol por meio da determinação de suas coordenadas horizontais altura e azimute a partir da sombra projetada por um gnômon em vários instantes do mesmo dia.

Atividade 2.4 – Localizando “estrelas no céu”: marcação da posição de diversas estrelas na esfera celeste representada pelo balão de vidro de fundo redondo por meio de suas coordenadas equatoriais, ascensão reta e declinação.

Atividade 2.5 – A “manobra” de um planeta no céu: análise do movimento retrógrado realizado por Mercúrio por meio de marcação de sua posição numa carta celeste, dada por meio de suas coordenadas ascensão reta e declinação, em diversos dias, ao longo de cerca de três meses.

Atividade 2.6 – A caminhada do Sol pelo céu durante o ano: análise do movimento anual do Sol na eclíptica por meio do uso

do modelo de esfera celeste feito com balão de vidro de fundo redondo.

1.4.2 Oficinas de Astronomia

Há uma série de excelentes oficinas de Astronomia, cuja elaboração foi coordenada pelo Prof. João Batista Garcia Canalle, cujos textos foram compilados numa apostila disponível para ser baixada da internet, achando-se indicada nas nossas referências (CANALLE, acesso em 24 fev. 2012). Várias dessas oficinas são destinadas ao Ensino Fundamental, mas algumas delas também são bem adequadas ao Ensino Médio. O estudante de licenciatura e futuro professor que as realizar certamente tirará grande proveito. Em especial recomendo a realização das seguintes oficinas:

- **O sistema solar em escala:** montagem, com materiais simples, de um modelo tridimensional do sistema solar em escala correta de tamanhos e distâncias. Consiste numa atividade excelente para que o estudante perceba, de maneira bem concreta, o enorme espaço existente entre os planetas e a imensidão do sistema solar, propiciando uma noção mais realista da estrutura espacial deste sistema.
- **Explicando Astronomia Básica com uma bola de isopor:** montagem e utilização de um modelo tridimensional do sistema Sol-Terra-Lua, por meio de uso de uma lâmpada e bolas de isopor. A atividade com modelos tridimensionais é a melhor maneira de se propiciar uma aprendizagem correta de fenômenos básicos de Astronomia, como as estações do ano, fases da Lua e eclipses, para cuja compreensão a consideração do posicionamento e movimentação dos astros no espaço tridimensional é fundamental. É notória a dificuldade de entendimento desses fenômenos quando o ensino é feito apenas com base em figuras bidimensionais.

Além destas oficinas também é fortemente recomendável a leitura do seguinte texto que integra a apostila do Prof. Canalle:

- **Professor, a Lua não tem quatro fases!** – neste texto é bem discutida e esclarecida a questão das fases da Lua e de que elas, contrariamente ao que o senso comum concebe, não são apenas quatro, mas infinitas, já que a Lua está continuamente mudando de aspecto. A leitura deste texto é especialmente recomendada antes da realização da atividade sobre eclipses, a seguir.

1.4.3 Eclipses: mais uma atividade com o *Stellarium*

Uma das simulações mais interessantes que podem ser feitas, usando o software *Stellarium*, é a que permite a visualização de um eclipse, seja lunar ou solar. Os eclipses são fenômenos que ocorrem sempre que um astro entra na sombra de outro. Quando o cone de sombra projetado pelo Lua toca a superfície da Terra, há um eclipse solar. Quanto a Lua penetrar na sombra da Terra, há um eclipse lunar. Eles são os fenômenos mais espetaculares que se pode assistir no céu, especialmente os eclipses solares totais. Antes da indicação das atividades propriamente ditas, apresentamos, a seguir, uma explicação sobre o que são os eclipses lunares e solares e algumas de suas principais características, para melhor compreensão da atividade:

1.4.3.1 Geometria dos eclipses

Um eclipse solar ocorre quando há um alinhamento entre o Sol, a Lua e Terra, nesta sequência, com a Lua se interpondo entre a Terra e o Sol, mantendo sua face que está na sombra completamente voltada para a Terra (figura 1.14.).

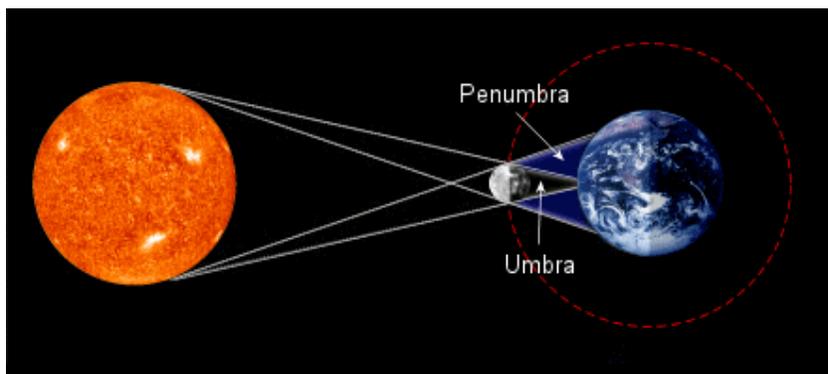
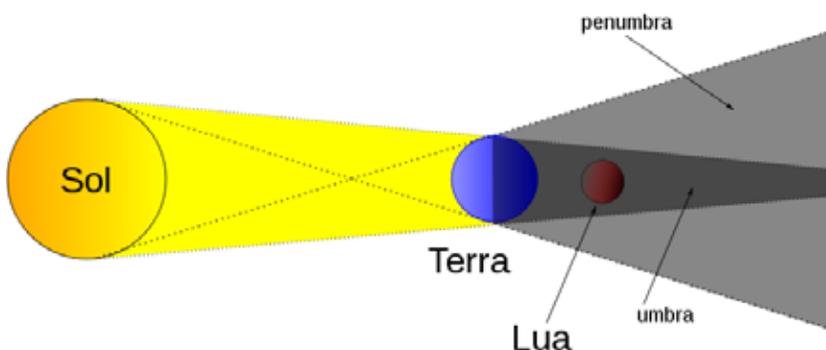


Figura 1.14: Geometria do eclipse solar. O eclipse será total para um observador situado numa região no interior da umbra, e apenas parcial para observadores na região da penumbra.

Fonte: <http://www.luispontes.com/ast_e.html#eclipse>.

Um eclipse lunar só acontece quando a Lua está na fase de Lua Nova³⁰. Um eclipse lunar, por sua vez, ocorre quando o alinhamento ocorre entre o Sol, a Terra e a Lua, nesta sequência, com a Terra se interpondo entre o Sol e a Lua (figura 1.15). Isso só acontece quando a Lua está na sua fase de Lua Cheia, com a mesma face voltada para a Terra e para o Sol.

Figura 1.15: Geometria do eclipse lunar. O eclipse será total se a Lua penetrar inteiramente na umbra projetada pela Terra e apenas parcial se ela apenas tangenciar o cone de sombra da Terra. Qualquer observador que esteja na face da Terra voltada para a Lua, onde será noite, verá o eclipse.



Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Eclipse_lunar.svg>.

Dissemos que a Lua necessariamente tem que estar na fase de Lua Nova, para que ocorra um eclipse solar, e na de Lua Cheia, para que ocorra um eclipse lunar, pois é só nestas fases da Lua que ocorre um alinhamento entre o Sol, a Terra e a Lua, mas, se estes astros ficam alinhados, não deveríamos ter eclipses em toda a Lua Nova e em toda Lua Cheia? Por que isso não acontece?

O que ocorre é que o plano da órbita da Lua em torno da Terra não coincide exatamente com o plano da órbita da Terra em torno do Sol, mas eles apresentam entre si um ângulo de cerca de $5,2^\circ$. Isso faz com que, na maioria das vezes em que a Lua atinge as suas fases de Lua Nova ou Lua Cheia, o alinhamento não seja perfeito. Em geral, o cone de sombra da Lua não toca a Terra, quando ela atinge a Lua Nova, nem o cone de sombra da Terra atinge a Lua, quando

³⁰ Na exposição que segue, utilizamos os termos “fase de Lua Nova” e “fase de Lua Cheia” nos referindo ao momento exato em que a Lua fica, respectivamente, em conjunção com o Sol e em oposição ao Sol, o que significa, no primeiro caso, que ela está no mesmo meridiano celeste que o Sol (mesma ascensão reta) e, no segundo, que está no meridiano oposto ao Sol, ou seja a 180° do meridiano celeste em que se encontra o Sol. Sobre a noção de fases da Lua é fortemente aconselhável a leitura do texto “Professor, a Lua não tem quatro fases!”, de Rodrigo Moura na apostila de Canalle (acesso em 26 fev 2012), indicada nas referências e disponível on-line.

esta está na Lua Cheia (figura 1.16, pontos A e C). Somente quando a Lua estiver cruzando o plano da eclíptica (plano da órbita da Terra) na fase de Lua Nova ou Lua Cheia é que o alinhamento será perfeito e ocorrerá um eclipse (figura 1.16, pontos B e D). Aliás é por isso que o plano e a linha da eclíptica levam este nome, pois só ocorrem eclipses quando a Lua estiver justamente cruzando por eles, quando na fase de Lua Nova ou Lua Cheia. Observando a figura 1.16 também podemos concluir que os eclipses só podem ocorrer quando a chamada “linha dos nodos”, que corresponde à linha de intersecção entre os planos das órbitas de Terra e da Lua, estiver passando pelo Sol, como nos pontos B e D, o que só ocorrerá duas vezes em cada volta da Terra em torno do Sol, ou seja, só duas vezes por ano haverá alguma chance de ocorrer um eclipse. Note também que, para que de fato ocorra um eclipse, além de a linha dos nodos ter que estar passando pelo Sol, é necessário que, quando isto ocorrer, a Lua também esteja passando pelo ponto de sua trajetória em que fica em conjunção, ou oposição ao Sol, ou seja, que ela esteja na sua fase de Lua Nova ou Lua Cheia. Por este motivo os eclipses não são tão frequentes.

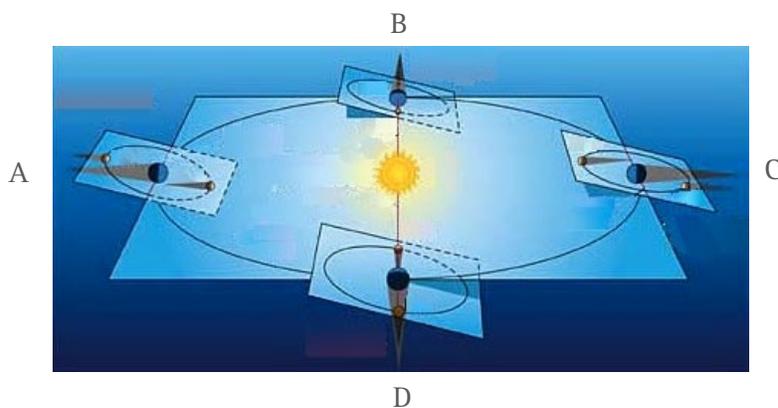


Figura 1.16: Os plano da órbita da Lua em torno da Terra apresenta um pequena inclinação de $5,2^\circ$ em relação ao plano da órbita da Terra em torno do Sol (plano da eclíptica), o que faz com que na maioria das Luas Novas ou Cheias o cone de sombra da Lua não atinja a Terra, nem o da Terra atinja a Lua.

Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/eclipses/eclipse.htm>>.

1.4.3.2 A visibilidade dos eclipses

Há uma diferença marcante entre os eclipses lunares e solares quanto à sua visibilidade, como é possível verificar observando as figuras 1.14 e 1.15: quando ocorre um eclipse da Lua, a partir de qualquer ponto da Terra que esteja na sombra, ou seja, em que seja de noite, será possível observar o eclipse, ou seja, metade da Terra poderá assistir ao eclipse da Lua. Já no caso de um eclipse do Sol, como é possível verificar na figura 1.14, apenas observadores que estejam numa pequena faixa da Terra que fique no interior da umbra verão um eclipse total, os que estiverem na penumbra verão apenas um

eclipse parcial, e os que estiverem fora destas regiões, mesmo que estejam na face da Terra que esteja voltada para o Sol e a Lua, nada verão. Conclusão: de qualquer ponto da Terra, os eclipses lunares serão visíveis com muito maior frequência que os solares, especialmente os solares totais, que, a cada vez que ocorrem, só são visíveis numa estreita faixa da superfície da Terra.

1.4.3.3 Aspecto da Lua durante um eclipse.

Um fato curioso que ocorre num eclipse lunar total é que, contrariamente ao que poderíamos imaginar, a Lua não fica totalmente escura. Pelo contrário, em geral ela apresenta uma coloração avermelhada e permanece perfeitamente visível no céu (figura 1.17). Como isso se explica?



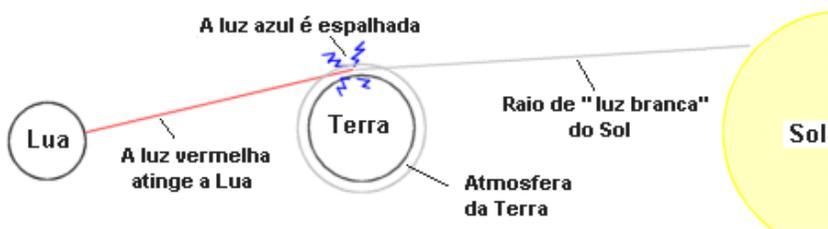
Figura 1.17: Eclipse total da Lua de em junho de 2011.

Fonte: Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lunar_eclipse_June_2011_Total.jpg>

O que acontece é que a Terra possui atmosfera, a qual funciona como se fosse uma lente e um filtro: como uma lente, ela desvia, por refração, os raios de luz vermelha do Sol para o interior do cone de sombra da Terra e, agindo como um filtro, bloqueia a luz solar azul, espalhando-a em outras direções (figura 1.18). Um astronauta que estivesse na Lua, olhando para a Terra durante um eclipse lunar total, veria o nosso planeta como um disco negro circundado por um anel vermelho brilhante. Esse anel nada mais seria do que a luz dos

crepúsculos e auroras ocorrendo ao redor de toda a Terra. É essa luz que incide sobre a Lua durante o eclipse total, produzindo a sua coloração vermelho-alaranjada. Se a Terra não possuísse atmosfera, não teríamos este efeito. Cada eclipse lunar total é único e diferente dos outros. A coloração exata que a Lua apresenta nestas ocasiões é variável, dependendo do tipo e quantidade de poeira existente na alta atmosfera da Terra e das nuvens nas regiões onde ocorrem as auroras e crepúsculos no instante do eclipse. A luz da Lua, durante o eclipse, nos informa não sobre ela, mas sobre a atmosfera da Terra.

Após essas considerações sobre os eclipses, vamos à atividades com o *Stellarium*.



► Atividade 1.6: Eclipses lunares e solares

Primeiramente, consulte um bom site que informe sobre datas, horários e locais, na superfície da Terra de onde os eclipses, seja lunares ou solares, serão visíveis. Sugestão: consulte o website da NASA, <<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>>, que parece ser o melhor e mais completo do mundo sobre o assunto³¹.

Escolha uma data e local de ocorrência de eclipse. Por exemplo, você pode escolher a próxima data em que um eclipse total da Lua seja visível da sua cidade. Isso certamente não é um evento muito raro, conforme explicação dada no item 1.4.2.2. Já um eclipse solar total que seja visível de sua cidade, ou de qualquer outro local específico da Terra, este sim, será muito mais raro. Todo ano acontece algum eclipse solar, só que a região em que eles são visíveis, especialmente a faixa de totalidade, é muito estreita.

Figura 1.18: A luz branca do Sol é uma mistura de todas as cores do arco-íris. Quando um raio de luz solar “branca” incide na atmosfera da Terra, as moléculas do nosso ar espalham a luz azul em todas as direções (por isso o céu da Terra é azul!...). A luz avermelhada que restou após a “filtragem” do azul é desviada (refratada) para dentro do cone de sombra da Terra, iluminando a Lua e produzindo a sua típica coloração avermelhada durante um eclipse total.

Imagem: Tony Phillips, NASA.

³¹ Nele há informações precisas sobre eclipses solares desde 1851 até 2100 e de lunares durante 5 milênios, desde 1999 A.C. até 3.000 D.C

Para exemplificar, vamos começar escolhendo o primeiro eclipse lunar total que seja visível de Vitória, ES, a partir do ano de 2012. Na página inicial da NASA, anteriormente indicada, podemos achar um link para a página com a lista de eclipses lunares que ocorrerão durante a década 2011–2020, no endereço: <<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEdecade/LEdecade2011.html>>.

Neste lista é possível verificar que em 2012 não ocorrerá nenhum eclipse total, apenas um parcial e um penumbral³², em 2013 também, apenas um parcial e dois penumbrais, mas em 2014 haverá dois eclipses totais, o primeiro no dia 15 de abril, outro no dia 8 de outubro³³. O primeiro será visível na Austrália, Oceano Pacífico e Américas. Clicando na data, abre-se uma página com informações detalhadas sobre o eclipse. Consultando as informações sobre o primeiro deles, do dia 15 de abril, <<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEplot/LEplot2001/LE2014Apr15T.pdf>>, verificamos, na tabela Eclipse Contacts, que fica embaixo à direita, que o horário em que acontece o primeiro contato da Lua com a umbra, denominado U1, que é quando efetivamente se poderá perceber que o eclipse está em andamento³⁴, ocorrerá às 05:58:19 UT, o que significa 5 horas, 58 minutos e 19 segundos do tempo universal (Universal Time). O tempo universal é a hora (Tempo Solar Médio Local) de Greenwich, na Inglaterra, que é usada como referência. Para converter para a sua hora local, basta saber a diferença, em horas, da hora legal da sua localidade para a hora de Greenwich, ou seja, você deve saber qual o seu fuso horário e somá-lo ao horário UT. No caso de localidades situadas no Espírito Santo, onde se segue a hora legal de Brasília, utilizada na maior parte de nosso país, nosso fuso horário corresponde a –3 h

³² Um eclipse penumbral ocorre quando a Lua não penetra a umbra, mas apenas a penumbra (veja figura 1.15). Esse tipo de eclipse é praticamente imperceptível a olho nu.

³³ Note o espaçamento de quase seis meses entre uma data e outra. Isso se deve ao fato de que decorrerão cerca de seis meses entre duas ocasiões em que a linha dos nodos passe pelo Sol, que ocorrem em pontos opostos da órbita da Terra (pontos B e D na figura 1.16).

³⁴ Conforme informamos antes, a passagem da Lua pela penumbra é praticamente imperceptível a olho nu.

(menos três horas), ou seja nossa hora legal acha-se atrasada de 3 horas em relação à hora de Greenwich (pois estamos situados a oeste de Greenwich), portanto, se o início do eclipse (início da penetração da Lua na umbra) ocorre às 5 horas e 58 minutos UT, ele ocorrerá às 2 horas e 58 minutos da hora legal de Brasília, no dia 15 de abril de 2014. Pronto, temos a informação que precisávamos para simular o eclipse no *Stellarium*! O eclipse iniciará na madrugada da noite de 14/15 de abril de 2014 e, portanto, será visível de Vitória, desde que o céu não esteja encoberto por nuvens, evidentemente.

Consultando a tabela de informações da NASA também vemos que a Lua deverá sair totalmente da umbra (contato U4) às 6 h 33 min no horário de Brasília, quando então o dia já terá amanhecido e, muito provavelmente, a Lua já estará abaixo do horizonte, para um observador em Vitória (poderemos verificar isso tudo por meio do *Stellarium*). A duração do eclipse, desde a entrada até a saída da Lua da umbra, será, portanto, bastante longa, cerca de 3 h 35 min. Os eclipses solares são muito mais rápidos, você saberia explicar o porquê desta diferença³⁵?

Vamos então à visualização por meio do *Stellarium*. Inicie o programa e clique na opção *Date/Time window* do menu da lateral esquerda e mude a data para o dia 15 de abril de 2014 (note que os dados devem ser inseridos no campo da data no formato ano/mês/dia) e a hora para, p. ex., as 2 h e 50 min, um pouco antes do início do eclipse. Depois abra a janela de busca (*Search window*) no menu da lateral esquerda e digite *Moon* (Lua, em inglês), para centralizar o campo de visão na Lua. Note que ela aparecerá relativamente próxima ao horizonte oeste, na constelação de Virgem, bem ao lado da estrela Spica³⁶, com Marte também aparecendo um pouco abaixo

³⁵No fundo, a razão é que a Terra é maior que a Lua. Consequentemente, o cone de sombra da Terra é maior que o cone de sombra da Lua. O primeiro é quem produz o eclipse lunar, o segundo, o solar.

³⁶Spica é a estrela mais brilhante da constelação da Virgem, é a α (alfa) da Virgem, seu nome significa espiga, pois indica a posição da espiga de trigo segurada pela virgem, como pode ser visto usando o recurso do *Stellarium* de exibir as figuras mitológicas associadas às constelações (Constellation art), disponível no menu inferior, ou teclando R.

dela. Tecele , (vírgula) para também ser mostrada a linha da eclíptica. Note que, conforme discutido no item sobre a geometria do eclipse, a Lua estará bem próxima, quase cruzando a eclíptica no início do eclipse, como tinha que ser: a umbra – cone de sombra da Terra – na qual ela irá penetrar sempre se encontra centralizada na eclíptica, ou seja, no plano da órbita da Terra.

Tecele /, ou outro comando de *zoom*³⁷ para ver a Lua mais de perto e observar o eclipse. Aperte a tecla L umas duas ou três vezes para acelerar o tempo e visualizar o eclipse mais rapidamente (no tempo real, o eclipse demorará mais de 3 horas...). Note como a Lua adquirirá uma coloração avermelhada³⁸. Quando ela estiver totalmente no interior da sombra o *Stellarium* mostrará estrelas adicionais, uma vez que o brilho, bem mais fraco, da Lua, não ofuscará mais o destas estrelas. Você poderá perceber nitidamente o deslocamento da Lua com relação a estas estrelas e à eclíptica. Tente perceber a forma circular do cone de sombra da Terra, cujo diâmetro é bem maior que o da Lua.

Vamos agora buscar um exemplo de eclipse solar. Consultando o website da NASA sobre eclipses, <<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>>, podemos verificar que, em 2012, haverá um eclipse solar total no dia 13 de novembro, cuja estreita faixa de totalidade cruzará o Oceano Pacífico, e que, em terra, passará apenas por um pequeno pedaço do nordeste da Austrália, como pode ser melhor observado na página <<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEmono/TSE2012/TSE2012.html>>. Vamos então imaginar que nos deslocaremos para o nordeste da Austrália para assisti-lo. Para saber de onde poderemos observá-lo, podemos voltar à página principal da NASA, <<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>>, e seguir o link para o período 2001-2021 indicado no item Solar Eclipses on Google Maps, que nos levará à página <[---

³⁷ Lembre que você pode usar o botão de rolamento do seu mouse, as teclas Ctrl+↑ ou Ctrl+↓, ou ainda *Page Up/Down*, para fazer *zoom in/out* e ampliar ou reduzir o campo de visão.](http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEgoogle/SEgoo-</p></div><div data-bbox=)

³⁸ Como dissemos antes, esta coloração é variada, pois depende das condições da atmosfera da Terra no momento. Alguns eclipses podem ser mais acinzentados, outros mais avermelhados.

gle2001.html>, onde, numa grande tabela encontraremos uma linha referente ao eclipse de 13 de novembro de 2012. Nesta linha clique na palavra Total (que indica que o eclipse é total) que você será encaminhado à página: <<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEgoogle/SEgoogle2001/SE2012Nov13Tgoogle.html>>, onde aparecerá um Google Map da região do eclipse, no qual você poderá fazer um *zoom* sobre a região do nordeste da Austrália por onde passará a faixa de totalidade. Nela você poderá verificar que a única cidade maior próximo ao centro da faixa é a cidade de Cairns. Ela para lá que iremos!

Resta saber o horário do eclipse. Note que, bem diferentemente de um eclipse lunar, em que o horário em que ocorrem a entrada ou saída da Lua do cone de sombra da Terra é a mesma para todos os observadores, qualquer que seja sua localização na superfície da Terra – todos vêem o mesmo fenômeno simultaneamente –, no caso de um eclipse solar é o cone de sombra da Lua que se desloca sobre a superfície da Terra, e cada local por onde ele passar verá o eclipse num hora diferente, as observações do eclipse não serão simultâneas, mas dependerão do local da superfície da Terra em que se encontra o observador.

Na mesma página do Google Map em que é mostrada a faixa de totalidade, você pode notar que bem no meio da trajetória, há um balão verde indicando a posição, bem no meio do Pacífico Sul, onde o eclipse terá a máxima duração³⁹. Passando o mouse por sobre este balão aparecem várias informações, como as coordenadas do ponto, a duração da totalidade e horários de início, máximo e final do eclipse nesta localização, sendo a hora indicada em termos do tempo universal (UT), que é a hora de Greenwich. Mas qual será o horário do eclipse em Cairns? Você pode novamente dar um *zoom* sobre o nordeste da Austrália no Google Map e clicar sobre a cidade de Cairns. Surgirá, então, um balão com informações sobre o eclipse nesta cidade. Aparecerão indicadas as coordenadas latitude e longitude do local que foi clicado, a duração da totalidade neste local, que será de cerca de 2 minutos, com máximo em torno das 20 h 40 min UT. Pronto, já temos os dados que necessitamos para o *Stellarium*!

³⁹ No balão aparecem as letras GE, sigla para Greatest Eclipse, que significa “eclipse máximo”.

Inicie o *Stellarium*, abra a janela de localização (*Location window*) e, no campo de busca (ao lado de um ícone que representa uma lupa), digite o nome da cidade australiana “Cairns”. Você verá que, felizmente, essa cidade já está no banco de dados do *Stellarium*, com suas coordenadas, que serão preenchidas automaticamente (senão, teríamos que digitar a latitude e longitude de Cairns nos respectivos campos). Quanto ao horário, lembre que nossa localização será em Cairns, mas o *Stellarium* utiliza a hora do seu computador, que é a hora legal de Brasília, a qual, em relação a hora de Greenwich, normalmente está 3 horas atrasada, mas que, no período de meados de outubro a meados de fevereiro, quando se utiliza o horário de verão, fica 2 horas atrasada. Como o eclipse será em novembro, utilizaremos como hora aproximada do eclipse UT – 2 h. Sendo assim, é de se esperar que o eclipse em Cairns, cujo máximo deve ocorrer em torno das 20 h 40 min UT, no horário de Brasília irá ocorrer às 18 h 40 min. No horário local, de Cairns, que fica no fuso de +10 h em relação à Greenwich, a hora da eclipse será às 30 h 40 min do dia 13 de novembro, ou seja, 6 h e 40 min do dia 14 de novembro! A data já será a do dia seguinte em Cairns.

Abra então a janela de data e hora do *Stellarium*, mude a data para o dia 13 de novembro e ajusta a hora para cerca de 18 h 30 min, um pouco antes do horário do eclipse.

Para centralizar o campo de visão no eclipse, use a janela de busca do menu da lateral esquerda (ou digite Ctrl+F) e escolha: procure pelo Sol ou pela Lua, é indiferente já que os dois estarão se alinhando na hora do eclipse. Se escolher a Lua, digite *Moon*, se o Sol, digite *Sun* no campo de busca, e tecele *enter*.

Pronto, você deverá estar vendo o eclipse já ocorrendo, junto ao horizonte leste, e já quase chegando à sua totalidade. Faça um pouco de *zoom in* para ver o eclipse de perto. Não acelere muito o tempo, pois este eclipse, ao contrário do da Lua, é muito rápido. Clique apenas duas vezes a tecla L para acelerar um pouco o andamento do eclipse. Assim que chegar ao horário das 18 h 39 min, tecele K para voltar ao normal o ritmo de passagem do tempo e assista ao espetáculo, serão só dois minutos de totalidade!

Note que a medida que o eclipse avança, o Stellarium consegue simular o escurecimento do céu e o surgimento de estrelas à volta do Sol. Para observar melhor este efeito, faça um *zoom out* suficiente para ver um pedaço do horizonte e os astros que “surgirão” a volta do Sol. Aos poucos aparecerão os planetas Saturno e Mercúrio e, quando o Sol finalmente ficar todo encoberto, várias estrelas. Ligue as opções que mostram as linhas das constelações, seus nomes e figuras mitológicas a elas associadas. Você verá que o eclipse está ocorrendo na constelação da Libra, que fica à frente da do Escorpião. Ligue também a linha da eclíptica, teclando , (virgula) e verifique que o eclipse está ocorrendo exatamente em cima desta linha.

Um eclipse solar total é tido como o espetáculo mais deslumbrante que se pode assistir no céu. Só que são raríssimas as vezes em que são visíveis exatamente das localidades em que moramos, ou próximo a elas. Em 03 de novembro de 1994 houve um eclipse cuja faixa de totalidade cruzou o sul do Brasil e pode ser visto muito bem das cidades catarinenses de Chapecó e Criciúma, que ficaram bem próximas do centro da faixa de totalidade. Em 29 de maio de 1919 houve um outro eclipse total visível da cidade cearense de Sobral que teve enorme importância histórica, pois a partir da observação precisa da posição em que as estrelas que estavam próximas à linha de visada do Sol apareceram naquela ocasião, pela primeira vez foi possível perceber que elas tinham suas posições desviadas exatamente conforme previsões feitas pela Teoria da Relatividade Geral, que afirmava que a luz sentiria o efeito da presença do Sol, desviando sua trajetória em consequência da curvatura do espaço-tempo produzida pela presença da sua grande massa, confirmando assim as previsões desta Teoria.

Se quiser, você pode simular estes dois eclipses que acima citamos, ou outro qualquer, lunar ou solar, utilizando os ótimos dados informados no *website* da NASA, o *Stellarium*, seguindo os mesmos passos que utilizamos nos dois exemplos que trabalhamos. Esperamos que a realização desta atividade sobre eclipses, além de promover a aprendizagem de vários conceitos de Astronomia, também tenha lhe proporcionado suficiente autonomia para isso. Nossa intenção foi essa.

1.5 QUESTÕES

Boa parte das questões a seguir são versões ou adaptações a partir de perguntas originalmente formuladas no capítulo 2 do livro de Caniato (1993) ou no livro de Boczko (1984). Em muitas delas será importante você utilizar como apoio para a compreensão e/ou simulação do que nela é proposto o programa *Stellarium*, ou o modelo de esfera celeste feito com balão de vidro de fundo redondo proposto por Caniato (1993).

1. Como é o movimento das estrelas em relação ao horizonte?
2. As estrelas sempre mantêm suas posições relativas fixas? Por quê?
3. As estrelas gastam todas o mesmo tempo se movendo acima do horizonte, isto é, para ir da posição de onde nascem (aparecem no horizonte) até o ocaso (quando desaparecem no horizonte)? Se levarem tempos diferentes, explique qual a razão e do que depende estes tempos.
4. Ao longo de um dia completo (24 horas), todas as estrelas serão, em algum momento, visíveis do lugar em que você está (desconsidere a luz do Sol e imagine que, mesmo de dia, se a estrela estiver acima do horizonte, ela será visível)? Explique.
5. Existem estrelas que ficam sempre acima do horizonte? Explique.
6. Existe algum lugar da superfície da Terra em que um observador possa ver todas as estrelas ao longo de um dia (novamente desconsidere a luz do Sol e imagine que, mesmo de dia, se a estrela estiver acima do horizonte, ela será visível)?
7. Há algum lugar, da superfície da Terra, no qual o observador não vê nem o nascimento, nem o ocaso das estrelas? Qual(is) é(são) esse(s) lugar(es)?
8. Que região do céu o observador situado no(s) lugar(es) indicado(s) na questão anterior teria sempre visível: um hemisfério celeste, ou mais, ou menos que um hemisfério celeste? Explique.

9. Há, para o observador situado no(s) lugar(es) indicado(s) no item 7, estrelas que nunca são visíveis? De que região do céu?

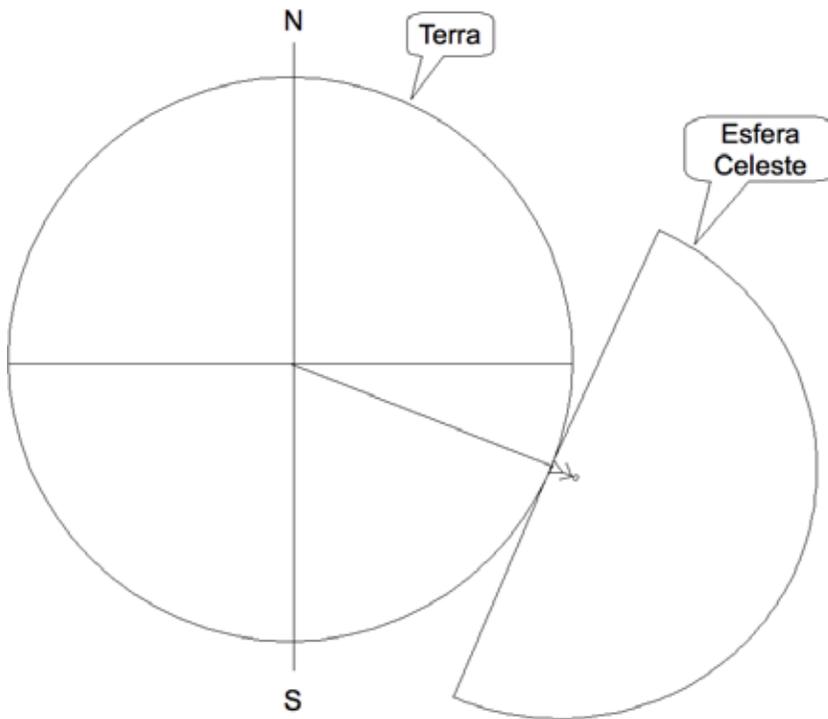


Figura 1.19: Questão 10: desenho esquemático, representando a Terra e a metade da esfera celeste visível para um observador em sua superfície.

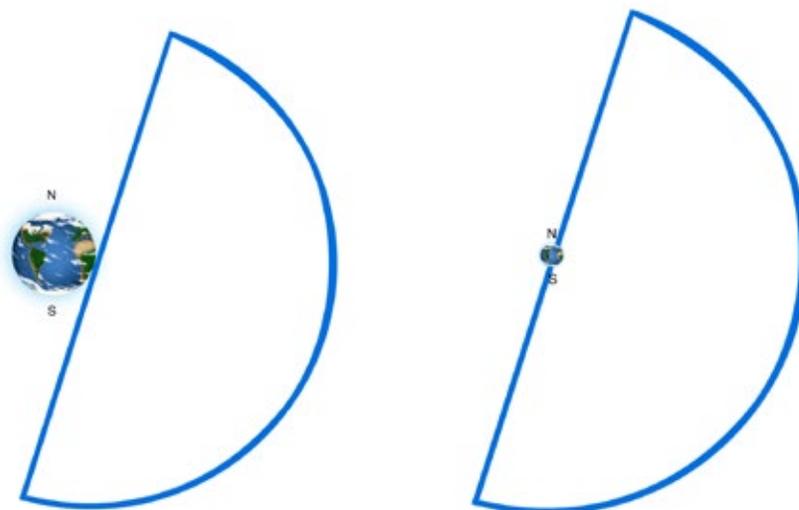


Figura 1.20: O raio da Terra é muito menor que o da esfera celeste, o que faz com que a Terra e o observador possam ser considerados como pontos situados bem no centro da esfera celeste.

10. Utilize a figura 1.19, na qual se acham representados, de maneira esquemática: a Terra, com os seus pólos; a linha do equador; um observador na superfície da Terra numa latitude semelhante à de Vitória (cerca de 20° Sul); o plano do horizonte deste observador e a metade da esfera celeste visível para este observador (a

outra metade fica oculta pelo plano do horizonte). Nesta figura, na metade da esfera celeste visível para o observador, represente o eixo da esfera celeste⁴⁰, o equador celeste e o pólo celeste visível para este observador. Identifique por escrito essas referências que você desenhará sobre a figura.

Importantíssimo: ao traçar essas referências, é essencial notar que a representação apresentada na figura 1 é esquemática, e que, na verdade, conceitualmente, a esfera celeste tem um raio muito grande (tendendo ao infinito) e que a Terra e o observador, comparados a ela, podem ser considerados apenas pontos situados bem no centro da esfera celeste, conforme procuramos indicar na figura 1.20, mostrando que podemos imaginar um *zoom out*, no qual a Terra vai se tornando minúscula em comparação à esfera celeste, até se tornar apenas um ponto em seu centro.

Após traçar as referências, use a figura 1 para demonstrar, geometricamente, que a latitude local (do observador) φ é igual à altura h do pólo celeste visível para este observador, onde a altura h do pólo é definida como sendo o ângulo entre a direção do pólo e o plano do horizonte do observador, medido sobre o plano vertical que passa pelo pólo celeste. Indique, por escrito, seu raciocínio.

11. Como um observador poderia definir o plano do horizonte nos seguintes casos:
 - (a) o observador está situado num local muito plano (num mar calmo, ou num deserto);
 - (b) o observador está situado numa cidade, com vários prédios ou árvores à sua volta.
12. O que é o chamado movimento diário aparente do Sol e das estrelas? Esse movimento é de fato só “aparente”? Explique.
13. Descreva uma maneira de se obter os 4 pontos cardeais com um gnômon.

⁴⁰ Denominado “eixo do mundo” por Caniato (1993).

14. Imagine o plano vertical que passa pelo observador e contém a direção leste-oeste. Ao observar um certa estrela, um observador nota que, antes de atingir o ponto mais próximo “do alto de sua cabeça”, ou seja, do zênite, a estrela corta este plano vertical vindo do Sul para o Norte. Em que hemisfério da Terra esse observador se encontra? Explique. (Sugestão, não deixe de utilizar o modelo de esfera celeste feito com balão de vidro ou o software *Stellarium* para uma simulação do movimento desta estrela.)
15. Qual a diferença entre o movimento diário das estrelas para um observador situado num dos pólos e outro no equador?
16. Enuncie o conceito de esfera celeste. Como se chegou a esse conceito?
17. Como podemos saber se um pólo celeste visível é norte ou sul, observando o movimento das estrelas em torno dele?
18. (a) O ponto do horizonte em que o Sol nasce é sempre o mesmo, todos os dias? Se não for, diga quando o Sol nasce exatamente no ponto cardeal leste.
 - (b) Na época em que o Sol nasce exatamente a leste, em que ponto se dá o ocaso?
19. Em que época (ou épocas) do ano o dia e a noite têm igual duração?
20. Em que época do ano os dias são mais longos? Quando são mais curtos?
21. Que fenômeno(s) astronômico(s) determina(m) o início oficial de cada uma das estações do ano? Por volta de que data ele(s) ocorre(m)?
22. Todos os dias, ao meio-dia, o Sol passa pelo zênite?
23. Existem pontos na Terra em que o dia e a noite têm sempre a mesma duração? Explique.

24. Descreva o movimento do Sol com relação ao horizonte e a duração do dia e da noite para um observador situado exatamente sobre um dos pólos geográficos da Terra. (Sugestão: não deixe de utilizar o modelo de esfera celeste feito com balão de vidro ou o software *Stellarium* para uma simulação do movimento do Sol.)
25. Qual é cidade em que você mora? Nesta sua cidade, quantas horas tem o dia mais longo e o mais curto? (Sugestão: use o software *Stellarium* para simular a duração do dia claro (Sol acima do horizonte), na época certa, para obter a resposta à questão.)
26. Em Vitória, durante um ano, em quantos dias o Sol passará pelo zênite? Em nenhum dia, apenas num dia, em dois dias ou em mais de dois dias? Justifique a sua resposta.
27. Você já ouviu falar que o pôr-do-sol é mais rápido na região norte, ou nordeste do Brasil que na região sudeste, ou sul? Ou seja, a duração do crepúsculo seria menor no Norte e Nordeste que no Sul e Sudeste. Seria isso verdade? Justifique.
28. Por que a Lua é o mais rápido dos astros em seu movimento na esfera celeste?



0 SISTEMA SOLAR

2.1 O QUE É O SISTEMA SOLAR?

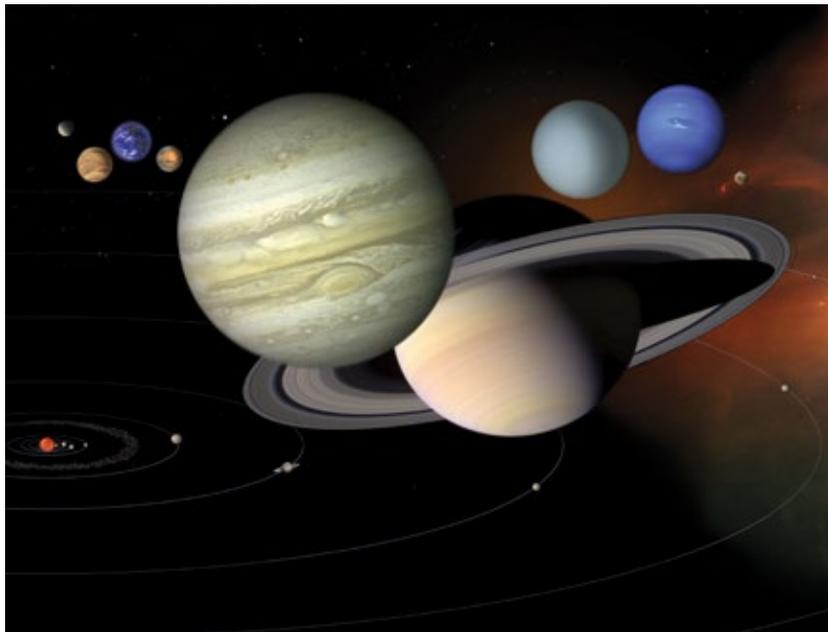


Imagem: NASA

O sistema solar é a nossa vizinhança cósmica mais próxima, que consiste num sistema dominado por um astro – o Sol – cuja massa representa mais de 99% do total e é, portanto, o centro do sistema. Devido à sua imensa massa, cerca de $2,0 \times 10^{30}$ kg, e a forte atração gravitacional que consequentemente exerce, o Sol mantém ligada a si uma imensa quantidade de objetos menores, dentre os quais os mais notáveis são os planetas, um deles a própria Terra. Os objetos que compõem esse sistema interagem gravitacionalmente não só com o Sol, mas também entre si, constituindo, desta forma, não apenas um conjunto, mas, de acordo com o significado mais preciso da palavra “sistema”, um conjunto de elementos interligados. O nome que recebe, de “sistema solar”, é, portanto, bem apropriado, destacando o papel proeminente desempenhado pelo Sol e o fato de ser constituído por um conjunto de corpos interagentes. Podemos defini-lo, de maneira sucinta, como sendo:

Sistema solar: sistema formado pelo Sol e todos os corpos que a ele permanecem ligados devido à sua atração gravitacional.

Além do Sol, o sistema solar é composto por oito planetas – Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno –,

suas luas e anéis, planetas anões⁴¹, uma miríade de corpos menores, tais como asteróides, cometas, objetos transnetunianos e meteoróides, e ainda o meio interplanetário, composto de poeira e gás. Embora todos esses demais corpos juntos representem menos de 1% da massa do sistema solar, eles apresentam uma imensa diversidade de aspectos, ambientes, condições físicas e composição química, tais como tamanhos que vão desde milhares de quilômetros, no caso dos planetas, até grãos microscópicos da poeira interplanetária; temperaturas que vão desde centenas de graus Celsius até próximo ao zero absoluto; alguns apresentam forte gravidade e atmosfera, outros não; alguns são essencialmente rochosos, enquanto outros são gasosos ou compostos por gelos.

A exploração desta imensa diversidade vem sendo realizada a distância pelo homem, por meio de telescópios, desde os tempos de Galileu Galilei, que em 1609 fez as primeiras observações telescópicas sistemáticas de astros do sistema solar, descobrindo, p. ex., as quatro maiores luas de Júpiter, as fases de Vênus e as manchas solares⁴². Desde os anos 60 do século XX, essa exploração vem sendo feita de maneira mais direta e próxima, por meio de astronaves, algumas tripuladas, como no caso do projeto Apollo de exploração da Lua, mas a maioria não-tripuladas, porém cada vez mais bem equipadas e eficientes na coleta de informações de valor científico, como, p. ex., as bem sucedidas missões da NASA a Marte, com envio de robôs (figura 2.1), uma delas em pleno andamento, a missão *Mars Science Laboratory*, que conduzirá a Marte o robô *Curiosity*, o maior e mais bem equipado de todos até o momento, com previsão de pouso em Marte para o dia 06 de agosto de 2012 (NASA, acesso em 08 fev 2012).

⁴¹ Cinco astros já foram incluídos nesta categoria, inclusive Plutão, e há vários outros candidatos. Muito provavelmente algumas centenas, ou mesmo milhares, de planetas anões ainda serão descobertos nas regiões mais remotas do sistema solar, além da órbita de Netuno.

⁴² Em homenagem aos 400 anos destas primeiras observações telescópicas feitas por Galileu, o ano de 2009 foi decretado pela ONU como o Ano Internacional da Astronomia. Veja, p. ex., <www.astronomia2009.org.br/>.

Figura 2.1: Três gerações de robôs enviados a Marte pela NASA, mostrando sua evolução tanto em tamanho como em recursos e quantidade de equipamentos. Na imagem são mostradas réplicas do Sojourner (o menor), pousado em Marte em 1997, do Spirit e Opportunity (à esquerda), que chegaram a Marte em 2004⁴³, e do Curiosity (o maior), que deverá pousar em Marte no dia 06/08/12.



Fonte: NASA, <www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_2154.html>.

Um dos grandes temas científicos na exploração do sistema solar vem sendo a busca e investigação de locais, além da Terra, onde possa existir ou já ter existido vida. O grande objetivo da missão *Mars Science Laboratory*, p. ex., será investigar se Marte apresenta, ou já apresentou condições favoráveis à vida microbiana e descobrir pistas, em suas rochas, sobre a possível ocorrência de vida no passado deste planeta.

Nas próximas duas seções, apresentaremos, primeiramente, a importante padronização recomendada pela IAU⁴⁴ com relação aos termos utilizados na classificação dos astros do sistema solar, conforme sua famosa resolução 5 de 2006, que reclassificou Plutão como planeta anão. A seguir, apresentaremos a definição de alguns termos muito usados pelos astrônomos na especificação do tipo de material de que são feitos os astros, como gases, gelos, voláteis e rochas. Como isso, nossa intenção, é pavimentar o caminho para deixar mais clara a descrição e panorama geral que apresentaremos no restante do capítulo, sobre a estrutura e composição do nosso sistema solar. Nessa

⁴³ De acordo com o planejamento inicial da missão, era esperado que os robôs gêmeos funcionassem durante 3 meses, mas, surpreendentemente, ambos foram muito além: o Spirit funcionou até 2010 e o Opportunity, até o momento da redação deste texto, ainda continua ativo, explorando Marte.

⁴⁴ International Astronomical Union (União Astronômica Internacional): associação internacional que congrega os astrônomos profissionais e é a maior responsável pela nomenclatura e padronização de termos, conceitos e definições utilizados em Astronomia.

exposição, usaremos como fio condutor a distribuição espacial dos diversos componentes desse sistema, numa sequência que vai desde as regiões mais próximas ao Sol até as mais remotas, começando pelo próprio astro rei⁴⁵. Acreditamos que esta forma de abordar o tema contribui para uma melhor compreensão da estrutura e organização dos astros do sistema solar, de nossa posição dentro dele, bem como das perspectivas com relação a futuros estudos, avanços e descobertas a serem feitos na exploração deste sistema do qual fazemos parte.

2.2 COMO SÃO CLASSIFICADOS OS ASTROS DO SISTEMA SOLAR?

O avanço na exploração do sistema solar, com a descoberta, a partir dos anos 1990, de um número cada vez maior de astros (mais de mil) integrantes deste nosso sistema, a maioria situados em regiões remotas, além da órbita de Netuno, denominada região transnetuniana, fez com que a comunidade internacional dos astrônomos sentisse a necessidade de uma definição mais precisa a respeito da classificação dos objetos que o compõem, em especial dos astros que, efetivamente, devem ser considerados planetas. Essa necessidade de definição era bem pertinente, uma vez que Plutão, até então considerado um planeta, como se percebeu, era apenas um dos membros de um grande conjunto de milhares de corpos, semelhantes a ele, que orbitam o Sol numa região atualmente denominada “Cinturão de Kuiper”, situada além da órbita de Netuno.

Plutão foi descoberto em 1930, por Clyde Tombaugh, à época jovem astrônomo americano que atuava no Lovell Observatory, num projeto que buscava descobrir o nono planeta do sistema solar, pois se supunha, erradamente, àquela época, que haveria um planeta mais externo que estaria perturbando as órbitas de Urano e Netuno (IAU, acesso em 20 mar 2012). A partir de sua descoberta, Plutão passou a ser considerado esse nono planeta, e, supunha-se então, ele teria tamanho e massa suficientes para perturbar as órbitas de Urano e Netuno. Contudo, com o avanço das técnicas de observação astronômica, estimativas cada vez mais precisas acerca de seu tamanho

⁴⁵ A expressão “astro rei” costuma ser utilizada, com propriedade, para fazer referência ao Sol, considerando que ele é, sem sombra de dúvida, o astro dominante do sistema.

e massa foram feitas, especialmente após a descoberta de sua lua Caronte, em 1978, demonstrando que seu diâmetro era de apenas cerca de 2.300 km e sua massa correspondendo a apenas 0,2% da massa da Terra. De fato Plutão é muito pequeno quando comparado aos demais planetas e até a algumas de suas luas. Por exemplo: seu tamanho é menor que o da nossa Lua, cujo diâmetro mede 3.475 km, e sua massa é cerca de 6 vezes menor que a do nosso satélite natural. Com tão pouca massa, Plutão não consegue exercer influência gravitacional suficiente para perturbar as órbitas de Urano e Netuno conforme se supunha.

Contudo, outros fatos interessantes foram descobertos a respeito desse astro: além da descoberta de sua lua Caronte, em 1978, com tamanho comparável ao dele próprio, com um diâmetro de 1.043 km – cerca de metade do de Plutão –, mais recentemente, graças a imagens obtidas com o telescópio espacial Hubble, descobriram-se mais três luas menores: Nix e Hydra, em 2005, e outra, provisoriamente denominada P4, descoberta em 2011 (NASA, acesso em 06 fev 2012). A astronave New Horizons – a primeira destinada ao estudo de Plutão e de outros objetos transnetunianos –, lançada em 2006, está a caminho, devendo chegar a Plutão em 2015, quando então novos fatos interessantes acerca deste mundo distante e gelado certamente serão revelados.

O avanço dos recursos tecnológicos a disposição dos astrônomos, com novas gerações de telescópios, tanto baseados em terra como espaciais, detectores muito mais sensíveis, e ainda diversas astronaves automáticas enviadas para a exploração de nosso sistema solar vêm aumentando nosso conhecimento e transformando nossa visão acerca dele. Em 1992, pesquisadores da universidade do Havaí descobriram o primeiro de uma série de mais de 1.000 astros atualmente conhecidos com órbitas que, como Plutão, ficam além da de Netuno, sendo, por este motivo, genericamente denominados “objetos transnetunianos” (em inglês: *transneptunian objects*, sigla TNOs), inclusive um deles, Eris, cuja descoberta foi confirmada em 2005, com tamanho e massa comparáveis, senão um pouco maiores, que os de Plutão. Essas novas descobertas revelaram que, após a órbita de Netuno, entre 30 e 50 UA⁴⁶ há um verdadeiro cinturão de pequenos astros, denominado

⁴⁶ Unidades Astronômicas. 1 UA corresponde à distância média entre a Terra e o Sol.

Cinturão de Kuiper, assim chamado em homenagem ao astrônomo Gerard Kuiper, um dos primeiros a especular sobre sua existência, em artigo científico publicado em 1951 (WIKIPEDIA.ORG, acesso em 12 mar 2012).

Como resultado dessas descobertas, sobretudo após Eris, o status de Plutão como planeta foi posto em cheque: se Plutão continuasse a ser considerado planeta, tanto Eris como outros TNOs, de tamanho comparável ao de Plutão, também mereceriam ser assim classificados. Entretanto, nenhum deles tem um papel dominante na região de sua órbita, pelo contrário, fazem todos parte de um grande conjunto de milhares de astros⁴⁸ que constituem o cinturão de Kuiper.

Essa polêmica rendeu uma acirrada discussão durante a 26a Assembléia Geral da IAU, que ocorreu em Praga, em 2006 – ano seguinte ao da confirmação da descoberta de Eris. Essa discussão resultou na votação de uma resolução que define o que é um planeta e como devem ser classificados os demais corpos que compõem o sistema solar, sendo criadas as categorias “planeta anão” e “pequenos corpos do sistema solar”. Segundo as normas apresentadas nessa resolução, Plutão deixou de ser considerado planeta e foi reclassificado como planeta anão, juntamente com Éris e o asteroide Ceres.

A resolução 5 aprovada na Assembléia Geral da IAU de 2006, numa tradução fiel, diz o seguinte (IAU, acesso em 17 mar 2012):

“1) Um planeta é um corpo celeste que:

a) está em órbita em torno do Sol,

b) tem massa suficiente para que sua autogravidade supere as forças de corpo rígido, de modo que ele assuma uma forma (quase redonda) de equilíbrio hidrostático, e

c) tenha limpado a vizinhança em torno de sua órbita.

2) Um ‘planeta anão’ é um corpo celeste que

⁴⁷ Estima-se que devam existir centenas de milhares de objetos com diâmetro acima de 100 km no cinturão de Kuiper (NASA, acesso em 06 fev 2012)

- a) está em órbita em torno do Sol,
- b) tem massa suficiente para que sua autogravidade supere as forças de corpo rígido, de modo que ele assuma uma forma (quase redonda) de equilíbrio hidrostático,
- c) não tenha limpado a vizinhança em torno de sua órbita, e
- d) não é um satélite.

3) Todos os outros objetos, exceto satélites, orbitando o Sol devem ser coletivamente denominados ‘Corpos Menores do Sistema Solar’ ”.

Em nota de roda-pé da resolução 5 ainda é dito, explicitamente, que:

“Os oito planetas são: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.”

Na resolução 6, que a segue, também é explicitamente afirmado:

“Plutão é um ‘planeta anão’, pela definição anterior, e deve ser considerado como o protótipo de uma nova categoria de Objetos Transnetunianos”.

Desta forma, a União Astronômica Internacional definiu, de maneira categórica, que deve se considerar que o sistema solar só possui oito planetas⁴⁸ e que Plutão é um planeta anão.

O critério da definição de planeta que não é atendido por Plutão é o último: “... (c) tenha limpado a vizinhança em torno de sua órbita.”, uma vez que a órbita de Plutão está dentro do cinturão de Kuiper, onde há inúmeros outros astros semelhantes a ele. Com esta resolução aprovada, ainda em 2006 mais dois astros conhecidos foram classificados pela IAU como planetas anões: Ceres, que faz parte do cinturão de asteróides, com órbita entre Marte e Júpiter, e Eris, que fica na região transnetuniana. Em 2008, a IAU, por meio de seu grupo de

⁴⁸ A chance de existência de um novo astro, ainda não descoberto, que atenda aos critérios definidos na resolução e possa ser considerado um planeta é considerada remotíssima.

trabalho encarregado da nomenclatura do sistema planetário, incluiu oficialmente mais dois astros na categoria de planeta anão: Haumea e Makemake, ambos da região transnetuniana, com nomes derivados das mitologias dos povos nativos do Havá e da Ilha da Páscoa, respectivamente.

Outra diretriz importante indicada pela resolução 5 é a de que todos os astros do sistema solar devem passar a ser classificados em três categorias gerais: planetas, planetas anões e corpos menores do sistema solar, ou então como satélites, caso orbitem um astro de maior massa.

2.3 DE QUE SÃO FEITOS OS ASTROS DO SISTEMA SOLAR?

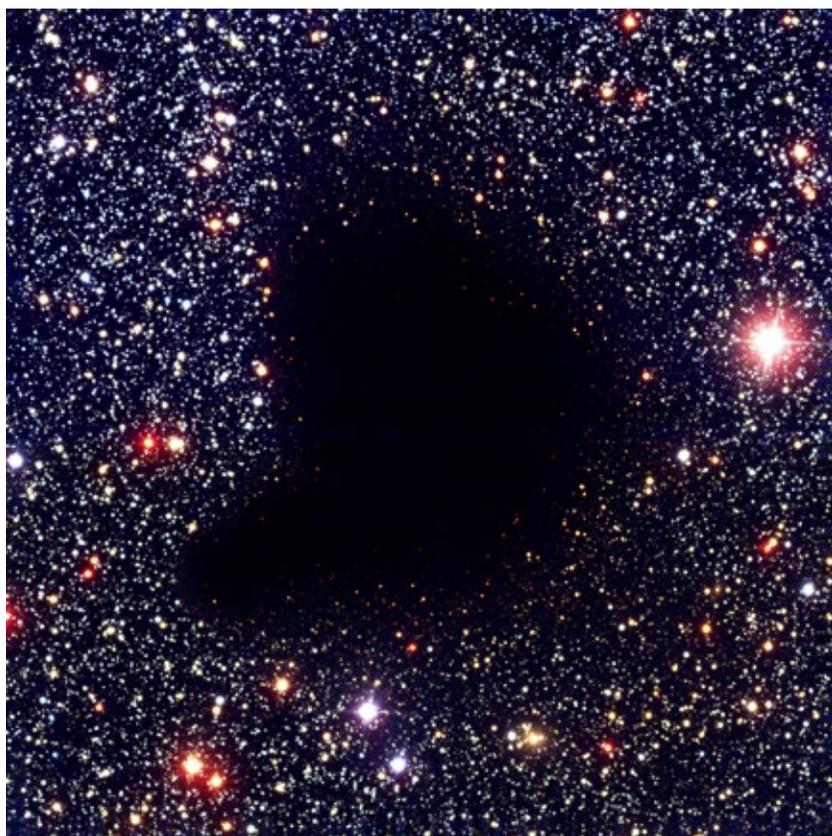


Figura 2.2. Nuvem molecular Barnard 68, cuja concentração de gás e poeira absorve a luz emitida pelas estrelas de fundo, que ficam atrás dela. Em cerca de cem mil anos ela deverá sofrer um colapso gravitacional e formar uma ou mais estrelas com seus respectivos sistemas planetários. Ela fica localizada na constelação do Ofiúco, a uma distância de 500 anos-luz e com cerca de meio ano-luz de extensão.

Fonte: NASA, <<http://apod.nasa.gov/apod/ap120129.html>>.

O sistema solar se formou a partir de uma grande nuvem de gás e poeira, escura e fria, denominada pelos astrônomos de “nuvem molecular” (figura 2.2), como muitas que existem em nossa galáxia e em inúmeras outras galáxias, sobretudo naquelas semelhantes à nossa, do tipo espiral. Essas nuvens são denominadas “moleculares” porque, devido à sua baixa temperatura, nelas há a presença de moléculas, sobretudo de hidrogênio (H₂). Os elementos químicos

presentes nesta nuvem primordial eram principalmente hidrogênio e hélio – os mais abundantes no universo – e quantidades bem menores de outros elementos mais pesados, principalmente oxigênio, carbono, neônio, ferro, nitrogênio, silício, magnésio, enxôfre, cálcio e níquel. Isso acontece devido ao fato de as nuvens do disco de nossa galáxia acharem-se “contaminadas” por elementos mais pesados formados no interior de estrelas das primeiras gerações que se formaram em nossa galáxia e em explosões de supernovas⁴⁹. Esses elementos e as moléculas mais simples formadas pela sua combinação, como o hidrogênio molecular (H₂), a água (H₂O), o metano (CH₄), a (H₂), a água (H₂O), o metano (CH₄), a amônia (NH₃), silicatos (compostos envolvendo silício, oxigênio, metais e hidrogênio), o sulfeto de hidrogênio (SH₂), o gás carbônico (CO₂), são os principais constituintes dos corpos do nosso sistema solar.

Ao descrever a constituição dos planetas, seus satélites, planetas anões e corpos menores do sistema solar (asteróides, cometas e objetos transnetunianos) os astrônomos costumam usar os termos:

- **rochas** – para designar uma constituição em que predominam compostos com alto ponto de fusão, como os silicatos, o ferro e o níquel, que tendem a permanecer no estado sólido, desde que a temperatura não seja excessivamente alta;
- **gases** – para indicar materiais com ponto de fusão extremamente baixo e alta pressão de vapor⁵⁰, tais como o hidrogênio molecular, o hélio e o neônio, que tendem a permanecer no estado gasoso, a não ser que sejam submetidos a pressões muito altas, como as existente no interior dos planetas gigantes;

⁴⁹ Segundo a teoria padrão de formação do universo, conhecida como Teoria do Big Bang, apenas hidrogênio, hélio e pequenos traços de Lítio foram formados na nucleossíntese primordial, alguns minutos após a “Grande Explosão” (Big Bang) que originou o universo. Todos os elementos mais pesados foram formados posteriormente, por meio de reações termonucleares que ocorrem no núcleo das estrelas, ou em explosão de supernovas.

⁵⁰ A pressão de vapor é uma medida da tendência de evaporação de um líquido: quanto maior sua pressão de vapor, mais volátil é o líquido.

- **gelos** – para designar compostos como a água, metano, amônia, sulfeto de hidrogênio e gás carbônico, que tem ponto de fusão de algumas poucas centenas de Kelvins e cujo estado depende das condições de pressão e temperatura do ambiente, sendo encontrados nos três estados sólido (gelo), líquido ou gasoso em diversos locais do sistema solar.
- **voláteis** – termo usado para designar, genericamente, tanto os gases como os gelos, os quais, submetidos a temperaturas medianas, como as encontradas na superfície da Terra, e pressões não muito altas “volatilizam”, ou seja, tendem a permanecer no estado gasoso.

2.4 O SOL

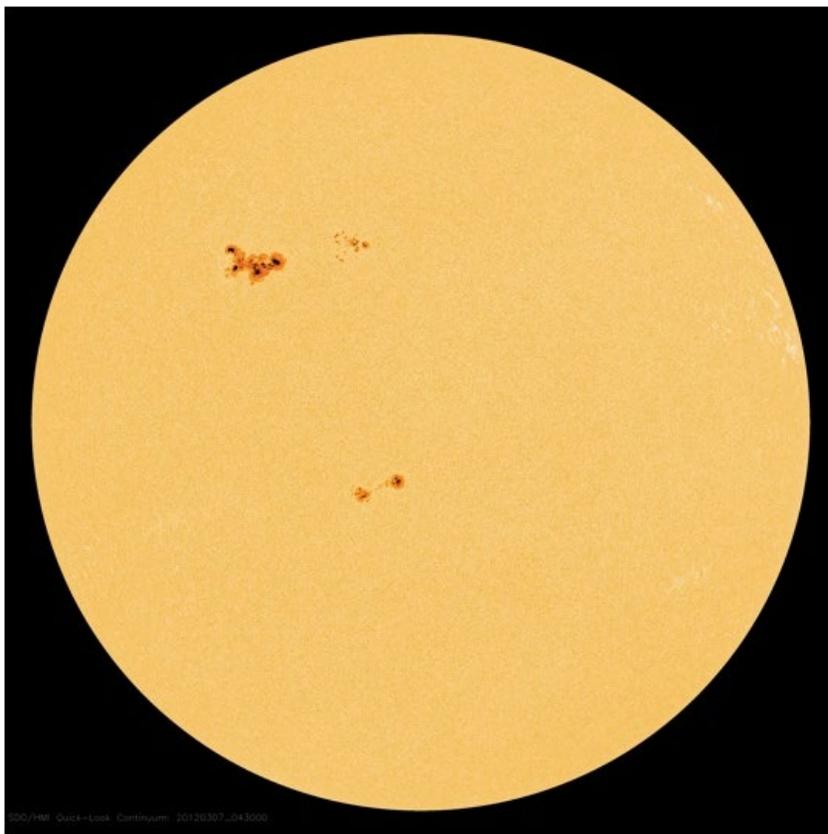


Figura 2.3: imagem do Sol no dia 07/03/12, obtida na faixa do visível, mostrando algumas manchas solares.

Fonte: <www.spaceweather.com>.

O Sol é a estrela mais próxima da Terra, tão próxima que permanecemos ligados a ela. Ele se situa a uma distância de cerca de 150 milhões de quilômetros da Terra, a qual é usada para definir uma unidade de distância muito utilizada no estudo do sistema

solar: a “unidade astronômica”, abreviada como “UA”, ou “AU” (em inglês)⁵¹.

Como toda estrela, o Sol é uma imensa esfera de gás incandescente, em sua maior parte ionizado, constituindo assim um plasma⁵², no qual efeitos magnéticos são muito importantes, sendo os responsáveis, p. ex., pelas manchas solares, mais escuras, que se mantêm mais frias que o entorno devido à presença de campos magnéticos intensos que mantêm a região da mancha relativamente isolada do restante, recebendo menos calor do interior solar (figura 2.3).

No núcleo do Sol ocorre o processo físico que é a principal característica de uma estrela durante sua vida normal e o grande responsável pelo sua fantástica emissão de energia: reações nucleares de fusão de elementos mais leves em elementos mais pesados, que transformam massa em energia de maneira muito eficiente, de acordo com a famosa equação formulada por Einstein: $E = mc^2$. No caso do Sol, a temperatura no núcleo chega a 15 milhões de graus Celsius e é suficiente para sustentar reações termonucleares de fusão de hidrogênio em hélio, liberando uma imensa quantidade de energia. A potência radiante total emitida pelo Sol, chamada pelos astrônomos luminosidade, é de $3,90 \times 10^{26}$ W.

Essa energia liberada pelo Sol ilumina e aquece os demais astros que compõem o sistema solar, e, chegando à Terra, constitui a grande fonte de energia necessária ao sustento da vida em nosso planeta.

A superfície visível do Sol é delimitada por uma camada denominada “fotosfera”, a partir da qual o plasma solar se torna mais transparente e a luz emitida pelas camadas interiores consegue escapar para o espaço, chegando a Terra em cerca de 8 minutos. A espessura da fotosfera é de cerca de 500 km – muito fina em comparação ao tamanho do Sol – e sua temperatura é de cerca de 5.500 °C.

⁵¹ Mais precisamente, $1 \text{ AU} = 1,4959789 \times 10^{11} \text{ m}$, que corresponde à distância média da Terra ao Sol.

⁵² Gás de partículas ionizadas.

O Sol apresenta seis camadas principais: núcleo, onde ocorrem as reações termonucleares de geração de energia a partir da matéria; zona radiativa, na qual a energia é transportada principalmente por meio da radiação; zona convectiva, onde a energia é predominantemente transportada por convecção; fotosfera; cromosfera e coroa (figura 2.4).

A cromosfera e coroa são regiões mais externas pouco densas e que emitem bem menos luz que a fotosfera na faixa do visível, sendo normalmente ofuscadas por esta. Contudo, durante os eclipses solares totais é possível observá-las (figura 2.5)

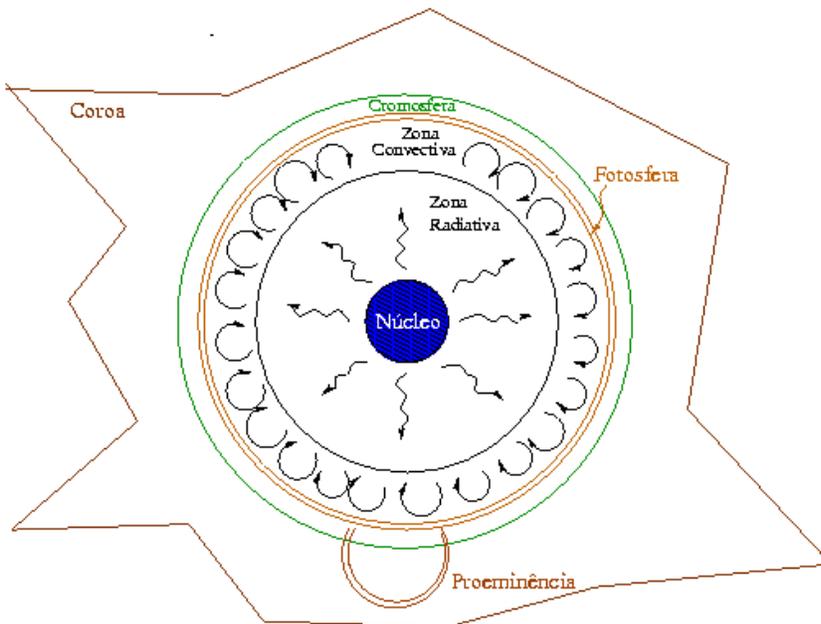


Figura 2.4: Principais camadas do Sol.

Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>>



Figura 2.5: Imagens da cromosfera e coroa solares durante eclipse solar total. A cromosfera é a fina camada rosada que aparece na imagem à esquerda e a coroa é vista na imagem à direita.

Fonte: MrEclipse.com, <<http://www.mreclipse.com/SEphoto/TSE2001/TSE2001galleryB.html>>

O Sol tem um raio de aproximadamente $6,96 \times 10^5 \text{ km} \approx 700.000 \text{ km}$ – bem maior que o radio da órbita da Lua em torno da Terra ($\approx 380.000 \text{ km}$) – sendo cerca de 110 vezes maior que o terrestre, o que significa que seu volume é mais de um milhão de vezes maior que o da Terra ($V \propto R^3$). Por sua vez, sua massa, de $2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$, é cerca de 300.000 vezes maior que a terrestre.

O Sol é uma estrela mediana. Na verdade, ele se acha um pouco acima da média em termos de massa, pois a grande maioria das estrelas são anãs vermelhas, com massas menores que a do nosso Sol, mas há também estrelas bem maiores que ele.

2.5 O SISTEMA SOLAR INTERIOR

O sistema solar interior corresponde à região do sistema solar mais interna e mais próxima ao Sol, cujo limite externo é constituído pelo cinturão principal de asteróides, que fica entre as órbitas de Marte e Júpiter. Os astros desta região, planetas, suas luas, e asteróides, se caracterizam por serem constituídos principalmente de rochas e metais e quase não apresentarem substâncias voláteis, como gases e gelos (veja seção 2.3).

2.5.1 Os Planetas Terrestres

Devido à sua composição predominantemente rochosa, os quatro planetas dentro desta região – Mercúrio, Vênus, Terra e Marte – possuem densidades relativamente altas, da ordem de $4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ou mais. Eles também apresentam tamanhos relativamente semelhantes (figura 2.6), sendo bem menores que os 4 gigantes gasosos – Júpiter, Saturno, Urano e Netuno – situados no sistema solar exterior. Eles possuem poucas ou nenhuma lua e não possuem anéis. Sua estrutura geológica apresenta crosta, manto e núcleo, os dois primeiros formados tipicamente por silicatos e o núcleo sendo metálico, constituído principalmente por ferro e níquel. Três deles possuem atmosfera suficiente para produzir fenômenos meteorológicos – Vênus, Terra e Marte. Todos apresentam algum sinal de tectonismo, como vulcões ou fraturas na crosta.



Figura 2.6: Planetas do sistema solar interior: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, na mesma escala de tamanho.

Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Terrestrial_planet_size_comparisons.jpg>

A Terra, o nosso planeta, é o maior dos quatro planetas rochosos. Por ser considerada um protótipo desta categoria, os planetas do sistema solar interior também costumam ser denominados, de maneira genérica, como “planetas terrestres” ou “planetas telúricos”. Contudo, a Terra apresenta características únicas: só ela apresenta, atualmente, atividade geológica e movimento de placas tectônicas, água líquida em sua superfície, oxigênio livre em sua atmosfera e, sobretudo, é o único em que há a comprovada presença de vida⁵³.

Quanto aos satélites naturais, a Terra também é única: somente ela apresenta um satélite natural de tamanho considerável, com autogravidade suficiente para assumir forma esférica e de tamanho comparável ao do planeta – a nossa Lua, cujo diâmetro é apenas cerca de 4 vezes menor que o terrestre. Marte apresenta dois satélites naturais: Fobos e Deimos, mas estes são de pequenas proporções e parecem ser apenas pequenos asteróides que foram capturados pelo planeta.

2.5.2 Os Asteróides

Constituindo o cinturão de asteróides há milhões de corpos rochosos e/ou metálicos de proporções que vão desde algumas centenas de quilômetros, até algumas dezenas de metros, sendo os menores muito mais abundantes. Ceres, o maior deles, como 952 km de diâ-

⁵³ Vale a pena notar que ainda acha-se em aberto a possibilidade de presença de vida microscópica em Marte, sobretudo porque foram descobertas fortes evidências de que já houve água líquida em sua superfície e que ela continua existindo ainda hoje em alguns locais de seu subsolo (WIKIPEDIA.ORG, acesso em 27 mar 2012). A investigação sobre a possível presença de vida em Marte, e em outros astros do sistema solar, é um dos principais temas de interesse na exploração do sistema solar.

metro, recentemente, em 2006, foi classificado como planeta anão pelo fato de possuir autogravidade suficiente para assumir uma forma esférica. Quase todos os demais possuem formas irregulares, com grande quantidade de crateras em suas superfícies (figura 2.7). A grande maioria fica situada entre as órbitas de Marte e Júpiter, entre 2,3 a 3,3 AU, contudo alguns possuem órbitas mais excêntricas e cruzam a região onde ficam situados os planetas do sistema solar interior, havendo risco de colisão, inclusive com a Terra. Por esse motivo, aqueles cujas órbitas interceptam a da Terra, denominados NEOs (Near Earth Objects) vem sendo monitorados para se avalie com antecedência a possível ameaça que possam trazer. Acredita-se que colisões com asteróides de grande tamanho, ocorridas no passado, tenham desempenhado um papel crucial na evolução da vida na Terra, promovendo a extinção de diversas espécies, como as dos dinossauros, há 65 milhões de anos atrás.

Figura 2.7: Asteróide Gaspra: um asteróide típico, com forma irregular, dimensões da ordem de 19x12x11 km, coberto de crateras.

Fonte: NASA, <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=1925>



Acredita-se que os asteróides sejam fragmentos que restaram da época de formação do sistema solar, a 4,6 bilhões de anos atrás, os quais, devido à forte influência gravitacional de Júpiter, jamais puderam se juntar para formar um planeta. Devido à influência de Júpiter, os embriões de planetas em formação, denominados “planetesimais”, que existiam na região entre as órbitas de Marte e Júpiter à época da formação do sistema solar, teriam colidido entre si, fragmentando-se e originando o atual cinturão de asteróides. A

atual massa total dos asteróides é pequena. Mesmo que juntássemos todos eles, a massa total seria menor que a da nossa Lua.

Curiosamente, já são conhecidos mais de 150 asteróides que apresentam luas, ou seja, pequenos corpos que os acompanham e se mantêm a eles ligados por atração gravitacional, ou então formando sistemas de mais de um corpo de tamanho semelhante que se mantêm ligados, orbitando em torno do centro de massa do sistema (figura 2.8).



Figura 2.8: Asteróide Ida acompanhado de sua lua Dáctil, à direita. Ida tem dimensões de cerca de 58 km de comprimento por 22 km de largura, enquanto Dactyl tem um diâmetro da ordem de 1,5 km.

Fonte: NASA, <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=2083>.

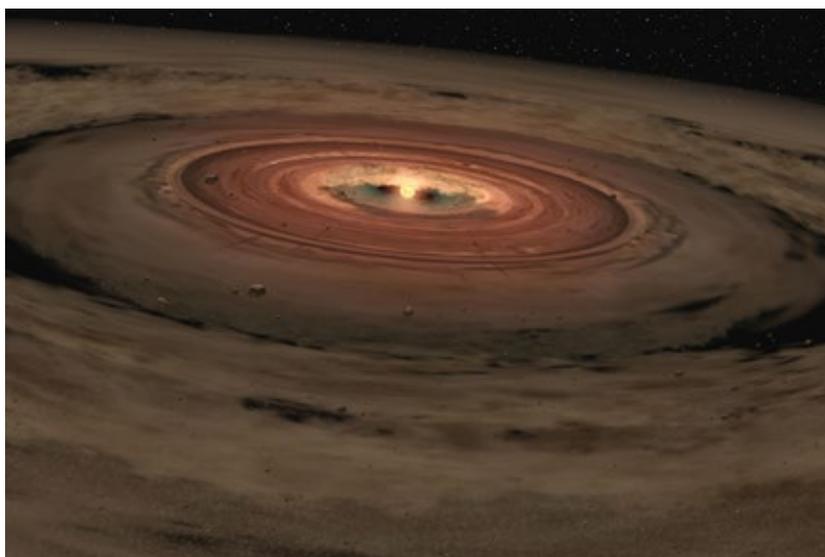
2.5.3 O sistema solar interior e a formação do sistema solar

O fato de os astros do sistema solar interior serem constituídos principalmente por rochas e metais e poucos elementos voláteis (veja seção 2.3) é bem explicado pela chamada teoria (ou hipótese) nebular de formação do sistema solar, segundo a qual o sistema se formou a partir de uma grande nuvem fria de gás e poeira interestelar (uma nuvem molecular, veja seção 2.3) que, por colapso gravitacional, se contraiu, formando uma concentração maior de matéria em seu centro, a qual se aqueceu pela conversão de energia potencial gravitacional em energia térmica durante a queda em direção ao centro, originando o Sol. Em torno do proto-sol, devido à conservação do momento angular durante a queda em direção ao centro, a nuvem passou a girar mais rápido, se achatando e originando um disco de gás e poeira em rotação em torno do proto-sol, chamado disco protoplanetário (figura

2.9). Quando o Sol começou a brilhar com mais intensidade, devido ao início das reações termonucleares de fusão de hidrogênio em hélio em seu núcleo, a intensa radiação luminosa, o vento solar⁵⁴ e a alta temperatura varreram os elementos e substâncias mais voláteis da região central do disco, onde se formaram os planetas terrestres e os *planetesimais*⁵⁵ que originaram os asteróides, fazendo com que a matéria que se agregou e os formou nesta região – o atual sistema solar interior – fosse constituída primordialmente por rochas e metais. A distâncias maiores do Sol, a partir da atual órbita de Júpiter, os gases mais leves e abundantes, como o hidrogênio, o hélio e outros materiais voláteis, como o metano, a amônia e a água, não foram varridos e se acumularam, originando os planetas gigantes e suas luas.

Figura 2.9: Concepção artística do processo de formação de planetas e planetesimais a partir de um disco de gás e poeira girando em torno de um proto-sol.

Fonte: NASA, <<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA07335>>.



⁵⁴ O vento solar é formado por partículas, principalmente prótons e elétrons, constantemente emitidas pelo Sol, bem como por outras estrelas, sendo então chamado vento estelar.

⁵⁵ Segundo a teoria de formação dos planetas por acreção de matéria a partir de um disco protoplanetário, diversos corpos, denominados planetesimais, com tamanho da ordem de alguns quilômetros, se formaram por aglutinação de matéria e corpos menores deste disco. A aglomeração e fusão de planetesimais por atração gravitacional, por sua vez, teria originado os protoplanetas e os asteróides maiores. Os asteróides menores teriam se originado de colisões fortes entre planetesimais, induzidas por Júpiter, nas quais o resultado, em vez de aglutinação, foi de fragmentação.

2.5.4 A Terra e a Lua: uma comparação

A Lua é o corpo celeste mais próximo de nós. Sua forma é esférica e ela acha-se, de fato, tão próxima, em comparação com as distâncias que separam a Terra dos demais astros, que se mantém permanentemente ligada ao nosso planeta, pela ação de forças gravitacionais, descrevendo uma trajetória quase circular em torno da Terra, levando cerca de um mês para completá-la. Ela fica situada a uma distância média de 380.000 km, o que representa cerca de 30 vezes o diâmetro terrestre (figura 2.11).



Figura 2.10: O sistema Terra-Lua visto do espaço, pela astronave Galileu, em 1992. Note como seus tamanhos são comparáveis, formando um “planeta duplo”.

Fonte: NASA, <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=1879>.



Como ela gira em torno da Terra, ela é um satélite de nosso planeta – o único satélite natural da Terra –, embora alguns astrônomos atuais prefiram considerá-la não mais como apenas um satélite, mas como um verdadeiro planeta irmão da Terra. Isso porque seu tamanho é menor que o do nosso planeta, mas não muito: seu diâmetro, que é de 3.476 km, é cerca de 4 vezes menor que o da Terra, cujo diâmetro mede 12.756 km, e sua massa é cerca de 80 vezes menor que a do nosso planeta. Comparando-se esta proporção de tamanhos com a que existe no caso de outros planetas do sistema solar e seus satélites, constatamos que ela é uma exceção: em geral os planetas são muito maiores que suas respectivas luas. Por isso alguns astrônomos, atualmente, preferem pensar na Terra e na Lua como se fossem um sistema de dois planetas, ou seja um “planeta

Figura 2.11: Sistema Terra-Lua visto em escala correta de tamanhos e distância. A distância entre elas corresponde a cerca de 30 vezes o diâmetro da Terra.

Fonte: Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Earth_Moon_Scale.jpg>.

duplo” (figura 2.10). De fato, a nossa Lua é maior que Plutão – atualmente classificado como planeta anão – e apenas um pouco menor que Mercúrio, o menor dos planetas do sistema solar. É interessante notar também que, rigorosamente, devido à proporção que há entre suas massas, a Lua não gira em torno do centro da Terra, mas sim Terra e Lua giram em torno de um ponto que, em Física, é denominado “centro de massa” do sistema (Terra-Lua), o qual se situa sempre abaixo da superfície da Terra (cerca de 1.700 km), mas não coincide exatamente com o seu centro.

Figura 2.12: Paisagem lunar típica: um deserto cheio de crateras. A cratera Copérnico, com 93 km de diâmetro, é vista no topo, quase no horizonte. Em primeiro plano, a cratera Pytheas, com 20 km de diâmetro.

Fonte: NASA, <<http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/Copernicus.jpg>>



Entretanto as diferenças entre Terra e Lua são notáveis, como se pode perceber, por exemplo, quando comparamos fotos da superfície da Lua com as paisagens que observamos na Terra. O aspecto da superfície da Lua é o de um deserto, completamente seco e sem ar, com um céu negro e um solo completamente coberto por crateras de todos os tamanhos (figura 2.12). Qual a razão de tanta diferença com relação à Terra?... Há apenas uma razão física principal: o fato de a massa da Lua ser menor que a da Terra, o que faz com a sua gravi-

dade seja cerca de 6 vezes menor que a terrestre, e também com que o núcleo da Lua já tenha esfriado, há bilhões de anos atrás, enquanto que o da Terra até hoje permanece aquecido, há uma temperatura de cerca de 5.000 °C.

O fato de o núcleo da Lua já ter esfriado, faz com qualquer atividade vulcânica ou tectônica (tão importantes como agentes de transformação da superfície da Terra) já tenham cessado de ocorrer na Lua a bilhões de anos atrás. Por sua vez, a gravidade pequena da Lua não é suficiente para reter uma atmosfera. Os gases (inclusive o vapor d'água) que eventualmente possam ter existido quando de sua formação, ou no tempo em que ela era mais jovem, foram totalmente perdidos para o espaço, há bilhões de anos. Assim, sem atmosfera, sem ventos, sem chuvas, sem erosão pela água ou pelo gelo, e sem qualquer atividade vulcânica ou tectônica, a superfície da Lua permanece deserta e praticamente inalterada há muitos milhões de anos, evidentemente sem oferecer quaisquer condições favoráveis à vida. O único evento que atualmente concorre para uma lentíssima transformação de sua superfície e para uma pequena erosão é a queda de meteoritos, a maioria deles muito pequenos, microscópicos (que, aqui na Terra, nem chegariam a atingir a superfície, uma vez que se desintegrariam ao atravessar a atmosfera) e que são os responsáveis pela aparência típica de sua superfície: repleta de crateras. Toda a superfície lunar é recoberta por uma camada de regolito, constituída de pequenos fragmentos de rocha, poeira e minúsculas esferas de vidro, originados no impacto destes meteoritos e micrometeoritos sobre a sua superfície. A profundidade desta camada varia desde alguns poucos metros, nos chamados “mares” (grandes planícies que foram recobertas por lava a bilhões de anos atrás), até dezenas de metros, nas terras altas e montanhosas mais antigas.

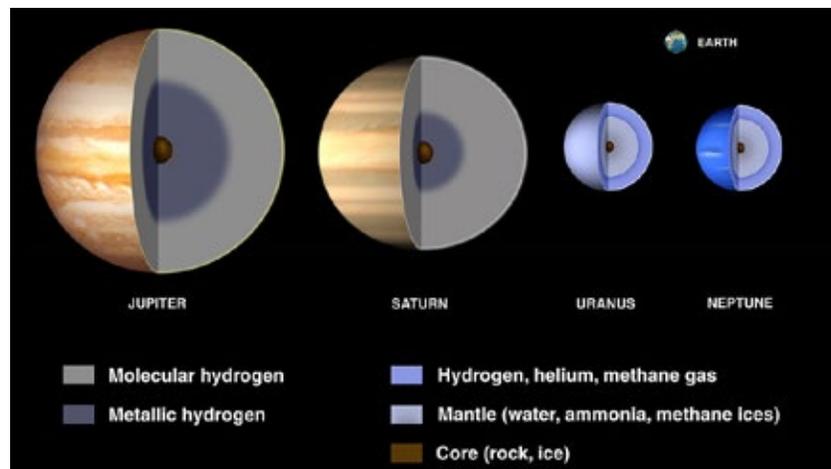
Na Terra também já caíram e ainda caem muitos meteoritos, porém sua atmosfera e o dinamismo de sua superfície, ao longo de alguns milhares ou poucos milhões de anos (um tempo muito curto quando comparado com a idade da Terra, estimada em 4,5 bilhões de anos) é suficiente para apagar quase completamente os vestígios destas colisões, mesmo das maiores.

2.6 O SISTEMA SOLAR EXTERIOR

O sistema solar exterior corresponde à região que se inicia após o cinturão de asteróides e vai até a órbita de Netuno, o último dos planetas. Nela se destacam os quatro planetas denominados “gigantes gasosos” – Júpiter, Saturno, Urano e Netuno (figura 2.13) –, suas inúmeras luas e anéis. Além desses astros principais, também habitam essa região diversos corpos menores do sistema solar, como cometas de curto período e os chamados centauros – astros cuja natureza é intermediária entre a dos asteróides e dos cometas.

Os corpos desta região apresentam uma constituição em que predominam substâncias que os astrônomos costumam, genericamente, denominar “voláteis”, que possuem baixo ponto de fusão, como o hidrogênio, hélio, amônia, metano e água (figura 2.13).

Figura 2.13: Interior dos planetas gigantes do sistema solar: Júpiter e Saturno são compostos principalmente por hidrogênio e hélio com uma extensa camada interna composta principalmente por hidrogênio molecular (H₂) líquido e outra, mais interna, onde, devido à altíssima pressão, há hidrogênio metálico. Urano e Netuno, embora também tenham bastante hidrogênio e hélio, possuem um percentual maior de “gelos” – água (H₂O), amônia (NH₃) e metano (CH₄). No centro de todos eles, se supõe, deve haver um núcleo rochoso. Uma imagem da Terra é mostrada no topo, à direita, numa escala real de tamanho, para comparação com os gigantes.



Eles contrastam, neste aspecto, com a constituição dos astros que habitam o sistema solar interior, predominantemente formados por rochas e metais. Essa segregação em termos de constituição se explica pela proximidade maior ou menor ao Sol: mais próximo ao Sol, tanto atualmente como na época de formação do sistema solar, a temperatura é mais alta, tornando mais difícil aos elementos voláteis se condensarem e serem incorporados aos astros que ali se formaram; já nas regiões mais afastadas do Sol, a temperatura é menor e os voláteis – muito abundantes no universo – puderam se condensar e/ou serem incorporados à constituição dos astros, originando os planetas com maior massa do sistema solar – os gigantes gasosos.

Fonte: NASA, <http://sse.jpl.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=166>.

2.6.1 Os planetas gigantes

Os quatro gigantes gasosos, em verdade, podem ser divididos em dois subgrupos: um deles formado por Júpiter e Saturno, que realmente merecem ser denominados “gasosos”, uma vez que são predominantemente constituídos por hidrogênio e o hélio, e o outro subgrupo, formado por Urano e Netuno, que apresentam um percentual maior de voláteis que os astrônomos costumam denominar “gelos” (seção 2.3), como a água, amônia e metano (figura 2.13), sendo, por este motivo, também denominados “gigantes gelados”.

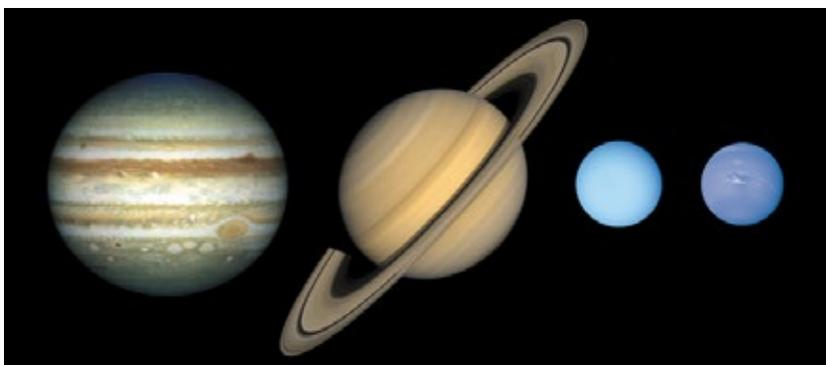


Figura 2.14: Planetas do sistema solar exterior: os quatro gigantes gasosos – Júpiter, Saturno, Urano e Netuno em escala correta de tamanhos.

Fonte: NASA, <http://sse.jpl.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=166>.

Todos os quatro gigantes têm tamanho e massa bem maiores que os planetas terrestres. Júpiter, o maior de todos os planetas do sistema solar, tem diâmetro 11 vezes maior que o da Terra e massa 318 vezes maior que a terrestre. Sua massa é 2,5 vezes maior que a de todos os demais planetas juntos. Por ser o mais notável dos planetas gigantes e servir de modelo para estes, os quatro gigantes gasosos também são denominados planetas “jovianos”, em referência à Júpiter, também chamado Jovis, em latim, assim como os quatro planetas do sistema solar interior também são chamados “terrestres”, em referência à Terra, que lhes serve de modelo.



Figura 2.15: Saturno e seu espetacular sistema de anéis, fotografado pela astronave Cassini, em 2004. No alto percebe-se a sombra dos anéis projetada sobre o planeta e, à esquerda, a sombra do planeta projetada sobre os anéis.

Fonte: NASA, <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=8983>.

Saturno tem massa 95 vezes maior que a terrestre e tem como característica mais marcante a presença de um extenso e complexo sistema de anéis (figura 2.15), constituído de fragmentos de gelos e rochas, principalmente gelo de água, que orbitam o planeta como se fossem pequenas luas, ou seja, os discos não apresentam uma estrutura sólida, ou contínua, mas sim são feitos de inúmeros fragmentos que orbitam o planeta. Os tamanhos desses fragmentos variam desde microns até alguns metros. Os anéis se estendem por centenas de milhares de quilômetros, mas são extremamente finos, apresentando, em geral, um espessura da ordem de apenas uma dezena de metros (NASA, acesso em 6 fev 2012). Todos os demais gigantes também apresentam anéis, porém muito menores e menos notáveis que os de Saturno.

Urano e Netuno – os gigante gelados – apresentam, respectivamente, massas cerca de 14 e 17 vezes maiores que a da Terra. Urano, embora tenha um diâmetro um pouco maior que o de Netuno, apresenta menor densidade que este e tem um núcleo mais frio que os dos demais gigantes, irradiando muito pouco calor para o espaço. Ele apresenta como característica única um eixo de rotação extremamente inclinado, situando-se praticamente sobre o plano de sua órbita, possivelmente consequência de uma colisão com outro astro com dimensões de um planeta no período inicial de formação do sistema solar. A grande inclinação de seu eixo produz uma enorme diferença de iluminação de seus hemisférios pelo Sol ao longo de sua órbita em torno deste astro, que leva 84 anos para ser completada.

Netuno, apesar de ser o mais distante dos planetas e receber menos energia do Sol, irradia mais calor para o espaço que Urano e apresenta uma surpreendente atividade em sua atmosfera, onde surgem ciclones com ventos de até 1.200 km/h (figura 2.16).

A coloração azulada, tanto de Netuno como de Urano deve-se à presença de metano em suas atmosferas, o qual absorve a parte vermelha do espectro visível e reflete o azul.

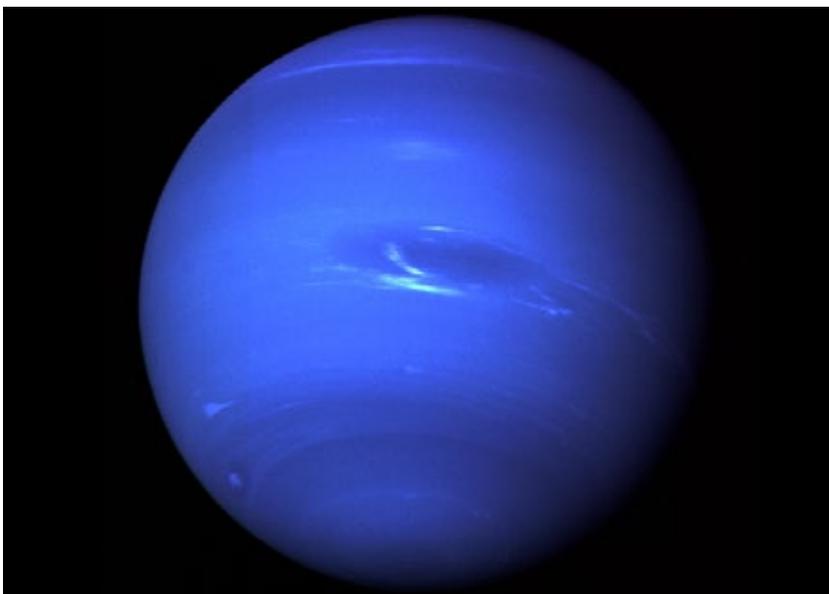


Figura 2.16: Netuno em imagem obtida pela astronave Voyager II, a única que passou próximo a ele, em 1989. No centro, bem visível, a chamada grande mancha escura de Netuno, um grande ciclone, do tamanho da Terra, com ventos de até 1.200 km/h, que havia na atmosfera do planeta na ocasião desta passagem da Voyager II. Atualmente essa mancha não existe mais, mas outras manchas similares já surgiram e desapareceram.

2.6.2. Cometas

Os cometas, também considerados corpos menores do sistema solar, são astros que possuem um núcleo da ordem de alguns quilômetros ou poucas dezenas de quilômetros, constituído, por gelos, poeira e pequenos fragmentos rochosos fracamente ligados (seguindo o modelo da chamada “bola de neve suja”), cuja origem remonta ao período de formação do sistema solar. Por esse motivo, seu estudo tem grande importância no sentido de revelar a constituição e as condições existentes na chamada *nebulosa solar primitiva* e no *disco protoplanetário*⁵⁶, a partir do qual se formaram o sistema solar e os planetas.



Fonte: NASA, <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=2424>.

Figura 2.17: Núcleo do cometa Halley, o mais famoso dos cometas. Imagem obtida pela astronave Giotto, a primeira a se aproximar e fotografar o núcleo de um cometa, em 1986. Gases e poeira aparecem, à esquerda, sendo ejetados pelo núcleo do cometa para a sua coma. O núcleo tem um comprimento de cerca de 15 km.

Fonte: NASA, <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=11423>

⁵⁶ Ver item 2.5.3.

A órbita dos cometas, tipicamente, é uma elipse com grande excentricidade (grande achatamento), cujo ponto de maior aproximação ao Sol, denominado periélio, acha-se no sistema solar interior. Ao se aproximarem do periélio, o aquecimento do núcleo cometário produzido pela radiação solar mais intensa faz com que os gelos em sua superfície sublimem, passando para o estado gasoso, carregando consigo poeira e formando, em torno do núcleo, uma imensa e tênue atmosfera, chamada cabeleira (coma). Os gases e poeira da cabeleira são empurrados pela pressão da radiação e pelo vento solar no sentido contrário ao que se encontra o Sol, formando uma imensa cauda, que pode se estender por milhões de quilômetros, mas é extremamente rarefeita (figuras 2.18 e 2.19).

Figura 2.18: Cometa NEAT, descoberto em 2001 pelo sistema de monitoramento Near Earth Asteroid Tracking (NEAT). Na imagem é possível perceber as principais partes de um cometa: núcleo, coma e cauda.

Fonte: NASA, <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=2323>.



Figura 2.19: Cometa McNaught, o mais brilhante das últimas décadas, com sua imensa cauda (mais de 100 milhões de km), fotografado ao pôr-do-sol sobre o Oceano Pacífico, em 2007. O Sol é o astro à direita.

Fonte: NASA, <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=10194>.



Os cometas são divididos em cometas de período curto, que demoram menos de 200 anos para completar uma volta em torno do Sol, como o Halley, que demora cerca de 76 anos⁵⁷, e os de período longo, que podem levar milhares ou milhões de anos para retornar. Há ainda cometas com trajetórias hiperbólicas, cuja órbita deve ter sido perturbada por algum planeta, e que jamais retornam ao sistema solar interior, sendo ejetados do sistema solar.

Acredita-se que os cometas de curto período, que passam a maior parte do tempo na região do sistema solar exterior, são corpos originários da região onde se situa Plutão, o chamado *Cinturão de Kuiper*⁵⁸, os quais, por alguma eventual perturbação gravitacional, como o encontro com outro astro do Cinturão de Kuiper, tem sua órbita desviada para o sistema solar interior. Já os cometas de período longo devem provir da região mais afastada do sistema solar – a nuvem do Oort⁵⁹.

Os cometas periódicos são efêmeros já que a cada passagem próximo ao Sol se desgastam, perdendo parte de sua massa ao ejetar gás e poeira, deixando fragmentos ao longo de sua órbita, os quais podem colidir com a Terra, dando origem às chamadas “chuvas de meteoros”, se a órbita de nosso planeta cruzar com a do cometa. Após um certo número de passagens o próprio cometa pode se fragmentar e/ou acabar caindo no Sol ou colidindo com um dos planetas (figura 2.20). Há cerca de 4 bilhões de anos atrás, quando o sistema solar ainda era jovem⁶⁰, houve uma fase de grande bombardeamento dos planetas e suas luas por cometas. Acredita-se que a maior parte das águas dos nossos oceanos, se não toda, tiveram origem na água trazida à Terra pelos cometas que com ela colidiram nesta época. Até mesmo a Lua deve ter recebido água dos cometas dessa mesma forma, o que explicaria a origem do gelo existente no fundo de al-

⁵⁷ Sua última passagem pelo periélio ocorreu no início de 1986. A próxima deverá ocorrer em 2061.

⁵⁸ Veja item 2.7.1.

⁵⁹ Veja item 2.7.3.

⁶⁰ A idade do sistema solar é estimada em 4,5 bilhões de anos.

gumas das crateras lunares situadas nas regiões polares, conforme evidências recentemente obtidas (NASA, acesso em 27 mar 2012).



Figura 2.20: Em 1994 o cometa Shoemaker-Levy 9 fragmentou-se (imagem acima) e seus fragmentos colidiram com Júpiter, deixando marcas marrons em sua alta atmosfera (imagem à direita).

Fontes: NASA, <<http://apod.nasa.gov/apod/ap980728.html>>; Wikimedia, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jupiter_showing_SL9_impact_sites.jpg>.



2.6.3 Centauros

Os centauros são corpos menores do sistema solar que apresentam uma natureza dual: ao mesmo tempo possuem características de asteróides e de cometas, o que os levou a serem batizados com o nome dos seres mitológicos que eram metade homem, metade cavalo. Como os asteróides apresentam órbitas que não são excessivamente excêntricas, mas que, à semelhança dos cometas de período curto, cruzam órbitas dos planetas gigantes. Por definição os centauros são astros gelados, a semelhança dos cometas, que se situam entre os extremos do sistema solar exterior, entre as órbitas de Júpiter e Netuno, e que cruzam a órbita de um ou mais dos

planetas gigantes. Devido a esse fato, suas órbitas são instáveis em razão da influência gravitacional dos planetas gigantes, e, com o passar de alguns milhões de anos, ou são desviados para o sistema solar interior, quando se transformam em cometas, ou colidem com algum planeta, ou são ejetados para regiões mais distantes do sistema solar, após um encontro próximo com um dos gigantes, especialmente Júpiter.

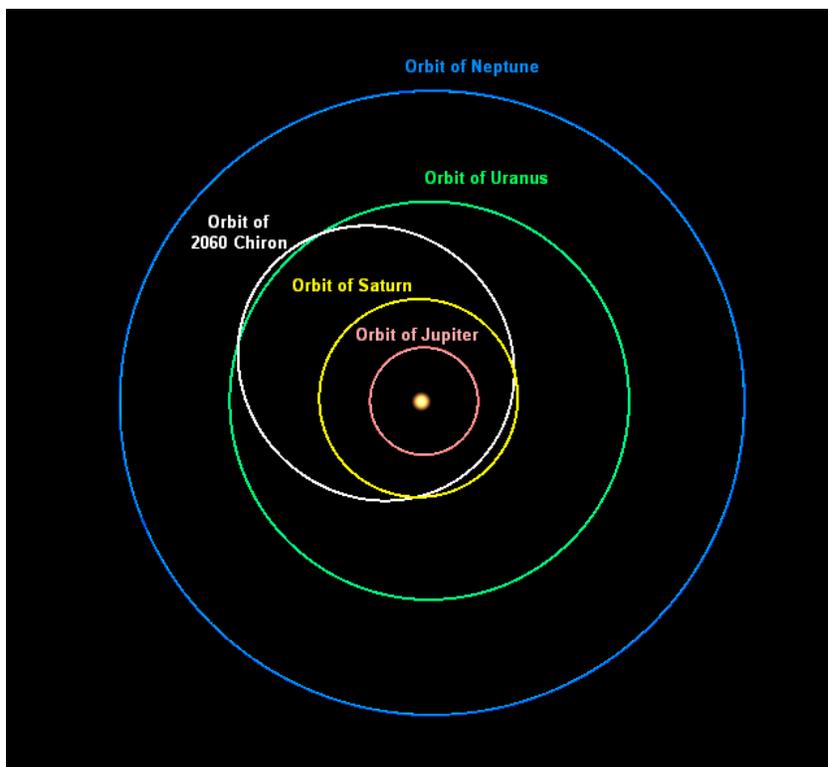


Figura 2.21: Órbita do centauro Chiron, que cruza as órbitas de Saturno e Urano, o que a torna instável.

Fonte: Wikipédia, <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Chiron_orbit.PNG>

Os centauros passaram a ser considerados como um grupo distinto a partir da descoberta de 2060 Chiron, em 1977, cuja órbita situa-se entre as de Saturno e Urano (figura 2.21), com diâmetro de cerca de 200 km. Ao ser descoberto ele foi classificado como asteróide, mas em 1989, quando estava próximo de seu periélio, se observou que ele apresentava uma coma, passando então a ser classificado também como cometa. Em outros centauros, também foi observado comportamento semelhante, reforçando a sua natureza dual. A estimativa é de que devam existir cerca de 40.000 centauros com diâmetro superior a 1 km. O maior deles já descoberto, 10199 Chariklo, possui diâmetro de 258 km.

2.7 REGIÃO TRANSNETUNIANA

Além da órbita de Netuno, situada a 30 UA do Sol, há uma vastíssima região do sistema solar, em sua maior parte desconhecida e inexplorada, denominada *região transnetuniana*⁶¹. Os astros situados nesta região são genericamente denominados objetos transnetunianos, sendo conhecidos pela sigla em inglês TNOs (Trans-Neptunian Objects). O primeiro destes objetos a ser descoberto foi Plutão, em 1930, cuja maior lua, Caronte, só foi detectada em 1978. Somente em 1992 um novo TNO, denominado 1992 QB1, foi descoberto por astrônomos do Mauna Kea Observatories, no Havaí. Após essa descoberta, projetos sistemáticos de pesquisa, visando a descoberta de novos astros desta região, começaram a ser desenvolvidos. Atualmente, mais de mil destes objetos, como diâmetros variando entre 50 e 2.500 km e constituídos de rochas e, principalmente, gelos⁶², já são conhecidos, dos quais os maiores são Plutão, Eris, Makemake e Haumea, já oficialmente classificados pela União Astronômica Internacional como planetas anões (figura 2.22).



A região transnetuniana, por sua vez, costuma ser subdividida em três regiões: o Cinturão de Kuiper, o Disco Disperso e a nuvem de Oort, que passaremos a descrever.

⁶¹ O prefixo “trans” significa “além de” ou “para além de”, o significado de “região transnetuniana” é, portanto, literalmente “região que fica além de Netuno”.

⁶² Veja seção 2.3.

2.7.1. Cinturão de Kuiper

O cinturão de Kuiper é um anel formado por milhares de objetos feitos de rochas e gelos que seriam remanescentes da época de formação do sistema solar, ficando situados a uma distância entre 30 e 55 UA do Sol. O nome do cinturão é uma homenagem ao astrônomo Gerard Kuiper que, em artigo de 1951, foi um dos primeiros a apresentar a hipótese de sua existência. Os objetos que o compõem costumam ser denominados KBOs, sigla retirada do seu nome em inglês: *Kuiper Belt Objects*. Os corpos deste cinturão apresentam órbitas não muito alongadas e que se concentram em torno do plano da eclíptica, à semelhança do cinturão de asteróides, entre Júpiter e Marte. Estima-se que existam mais de 100.000 KBOs com mais de 50 km de diâmetro. Sua massa total, contudo, não ultrapassaria um décimo da massa da Terra. Os maiores astros conhecidos deste cinturão são os planetas anões Plutão, Makemake e Haumea. Acredita-se que os cometas de período curto tenham sua origem neste cinturão e/ou no disco disperso (veja a seguir). A astronave New Horizons, que deverá chegar a Plutão em 2015, será a primeira a explorar de perto alguns corpos desta região.

2.7.2. Disco Disperso

O disco disperso é formado por astros gelados que se supõe tenham sido lançados (dispersados) para órbitas elípticas mais excêntricas na região transnetuniana devido à interação gravitacional com os planetas gigantes, e que ainda teriam suas órbitas perturbadas por Netuno. O periélio⁶³ dos corpos que compõem esse disco em geral situa-se no interior do cinturão de Kuiper, entre 30 e 35 UA, porém seu afélio⁶⁴ vai bem além, chegando até a 150 UA. Suas órbitas, em geral, apresentam grande inclinação com relação ao plano da eclíptica. O maior dos representantes conhecidos deste disco é Eris, com tamanho semelhante ao de Plutão⁶⁵, e também oficialmente classificado como planeta anão.

⁶³ Ponto da órbita mais próximo ao Sol.

⁶⁴ Ponto da órbita mais distante do Sol.

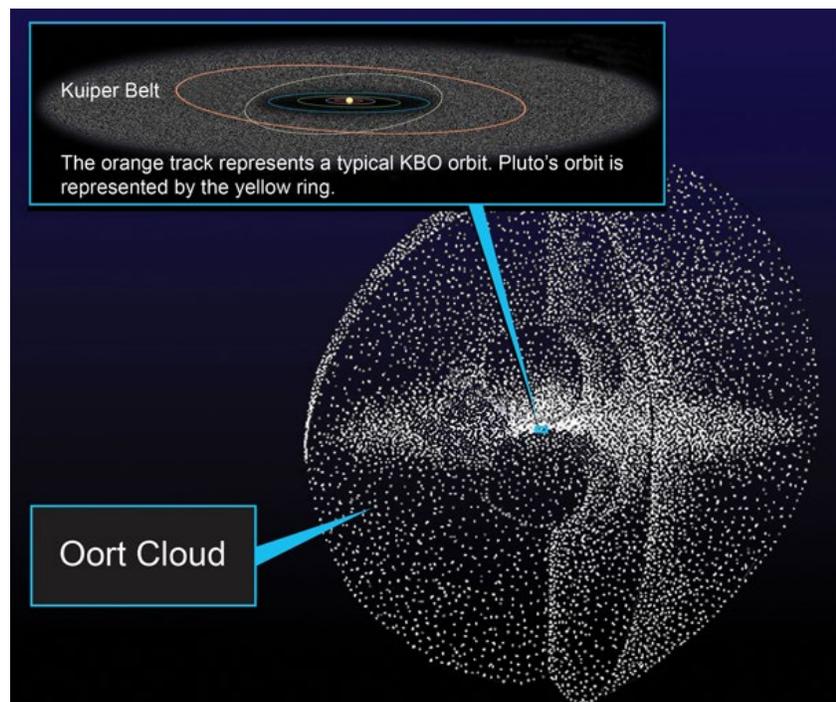
⁶⁵ O que contribuiu fortemente para a reclassificação de Plutão como planeta anão (veja seção 2.3).

2.7.3 A Nuvem de Oort

Em 1950, o astrônomo holandês Jan Hendrik Oort, para explicar a origem dos cometas de período longo (item 2.6.2), cujas órbitas apresentam uma orientação aleatória que não se situa no plano da eclíptica, formulou a hipótese de que os mesmos seriam originários de uma região muito distante, com simetria esférica e raio de cerca de 20.000 UA, que seria o repositório de milhões de núcleos cometários. Como as órbitas cometárias são instáveis e os cometas se desgastam a cada passagem⁶⁶, eles não poderiam ter se formado nas atuais órbitas, sendo necessário presumir a existência desse repositório, que passou a ser denominado Nuvem de Oort (figura 2.23).

Figura 2.23: Nuvem de Oort: imensa “nuvem” esférica contendo até um trilhão de núcleos cometários. Segundo se acredita eles teriam sido formados em regiões mais internas, mas foram ejetados para esta região distante em consequência de interações gravitacionais com os planetas gigantes. O *zoom* no centro da nuvem mostra como as dimensões do sistema solar exterior e do cinturão de Kuiper seriam modestas em comparação com a nuvem do Oort, que se estenderia até cerca 100.000 UA, que corresponde a quase dois anos-luz, distância que representa o limite de nosso sistema solar, a partir da qual a influência gravitacional do Sol não mais seria predominante.

Fonte: NASA, <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.dfm?Category=Planets&IM_ID=10195>.



É importante notar que a nuvem de Oort consiste apenas numa hipótese plausível, mas cuja comprovação observacional ainda não existe, dada sua imensa extensão, enorme distância ao Sol e pequenas dimensões dos núcleos cometários, que impedem sua detecção. Segundo se acredita atualmente, a nuvem de Oort poderia conter até um trilhão de núcleos cometários, teria uma região mais interna, situada a cerca de 20.000 UA, cuja simetria seria semelhante a de um anel grosso ou “rosca”, e uma região mais externa, com simetria esférica, que se estenderia até

⁶⁶ Veja item 2.6.2.

100.000 UA (figura 2.23). O limite externo da nuvem de Oort corresponderia ao próprio limite externo do sistema solar.

Segundo as teorias atuais acerca da formação do sistema solar, acredita-se que o núcleos cometários da nuvem de Oort não teriam se formado na região remota em que se encontram atualmente, uma vez que a densidade de matéria nesta região seria muito baixa, mas, ao contrário, em regiões bem mais internas, onde também se encontravam os planetas gigantes, os quais, devido à sua grande massa e gravidade, ao ocorrer encontros próximos com os núcleos cometários, seriam os responsáveis por lançá-los até a região da nuvem de Oort (MORBIDELLI, acesso em 30 mar 2012). Segundo esta hipótese, os bilhões de núcleos cometários da nuvem de Oort nada mais seriam do que planetesimais formados em regiões mais internas do sistema solar que foram ejetados para longe durante o processo em que os planetas gigantes “limparam” suas órbitas. Processo esse que também teria produzido uma migração dos planetas gigantes, especialmente, Netuno, de uma formação com órbitas mais compactas e próximas ao Sol para suas posições atuais⁶⁷.

2.7.4 Sedna

Sedna, descoberto em 2003, é um objeto transnetuniano, com mais de 1.000 km de diâmetro, que, de todos os objetos atualmente conhecidos do sistema solar, afora objetos menores, como os cometas de período longo, é o que atinge a maior distância ao Sol. Sua órbita elíptica apresenta grande excentricidade (0,85). Seu periélio fica a uma distância de 76 UA que é cerca de 2.5 vezes o raio da órbita de Netuno e seu afélio fica a quase 1.000 UA – muito além do cinturão de Kuiper e dos astros do disco disperso (figura 2.24) –, levando mais de 10.000 anos para completar uma volta em torno do Sol. Contudo, ainda assim, ele não atinge a região da hipotética nuvem do Oort. Desta forma não é possível classificá-lo, legitimamente, como objeto pertencente a qualquer uma das três principais sub-regiões da região transnetuniana anteriormente apresentadas. Com órbita semelhante a dele, há apenas pouquíssimos outros objetos transnetunianos menores atualmente conhecidos. Em verdade, como dissemos no início desta seção, a imensa região transne-

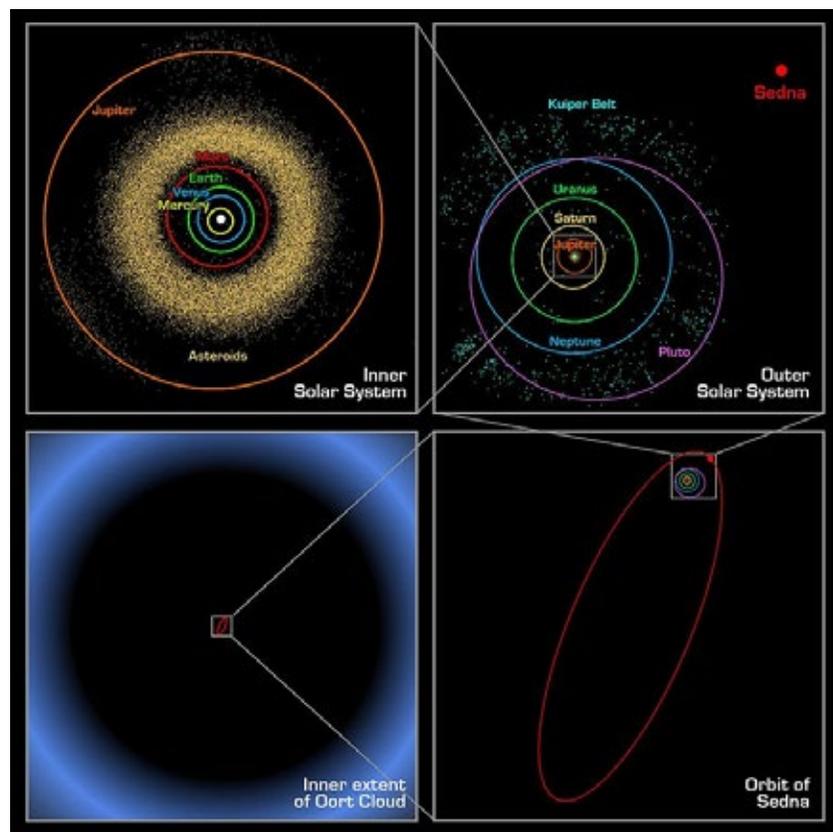
⁶⁷ Veja, por exemplo, artigos sobre o chamado Modelo de Nice (WIKIPEDIA.ORG, acesso em 30 mar 2012; GOLDMAN, acesso em 30 mar 2012; MORBIDELLI, acesso em 30 mar 2012).

tuniana ainda é pouquíssimo conhecida e explorada. Afora a descoberta de Plutão, em 1930, praticamente, só a partir dos anos 1990 essa região começou a ser revelada e investigada. Como os astros que nela se situam são remanescentes da época da formação do sistema solar, o estudo de suas características dinâmicas, físicas e químicas deverá fornecer, e já vem fornecendo, pistas importantíssimas para a compreensão do processo de formação e evolução do nosso sistema solar.

Figura 2.24: Regiões do sistema solar em escalas de distância cada vez maiores, situando a órbita de Sedna. A partir do topo, à esquerda, no sentido horário: sistema solar interior; sistema solar exterior e cinturão de Kuiper, com indicação da atual posição de Sedna, perto de seu periélio, a uma distância do Sol maior que duas vezes o raio da órbita de Netuno; órbita elíptica de Sedna, bastante excêntrica, que vai muito além do cinturão de Kuiper; órbita de Sedna em comparação com a região mais interna da nuvem de Oort. A sucessão de quadros apresentados têm lados medindo, respectivamente, cerca de 10 UA, 100 UA, 1000 UA e 20.000 UA. Acredita-se que a região mais externa da nuvem do Oort tenha um raio de 100.000 UA. Para mostrá-la seria necessário mais um quadro com escala de distâncias 10 vezes maior que a do último.

A figura 2.24, a seguir, que visa localizar a órbita de Sedna no contexto do sistema solar, com quatro quadros em diferentes escalas de distância, evidenciando o quanto se deve ampliar a escala de distâncias quando passamos de cada uma regiões mais internas para a região seguinte, mais externa, representa uma boa síntese da estrutura espacial do sistema solar que apresentamos neste capítulo.

Após a figura, como fechamento do capítulo, visando complementar e aprofundar o estudo do conteúdo nele abordado, apresentamos duas sugestões de atividades.



Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oort_cloud_Sedna_orbit.jpg>.

2.8 ATIVIDADES COMPLEMENTARES

2.8.1 Montagem de um sistema solar em escala.

Como forma de tornar mais sensível e concreta a noção da escala correta de tamanhos e distâncias do sistema solar, permitindo perceber a enorme dimensão do universo, mesmo quando nos atemos somente à nossa vizinhança cósmica mais próxima, representada pelos astros do sistema solar, uma atividade excelente é a montagem de um sistema solar com objetos tridimensionais em escala correta tanto de tamanho como de distâncias. Orientações com relação a essa atividade podem ser encontradas em diversas fontes como:

CANALLE, João Batista Garcia. *Oficina de Astronomia*. Disponível em: <www.telescopiosnaescola.pro.br/oficina.pdf>. Acesso em 24 fev 2012.

MEES, A. A.; ANDRADE, C. T. J.; STEFFANI, M. H. *Textos de Apoio ao Professor de Física – Atividades de Ciências para a 8ª Série do Ensino Fundamental: Astronomia, Lua e Cores*. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/tapf/v16n4_Mess_Jraige_Steffani.pdf>. Acesso em 24 fev 2012.

2.8.2 Uso do softwares para exploração do sistema solar

Como forma de explorar virtualmente o sistema solar existem pelo menos duas excelentes opções:

- Software *Celestia*, <<http://www.shatters.net/celestia/>>, que é um programa livre e multiplataforma, que pode ser baixado gratuitamente e permite fazer uma viagem através de um modelo 3D do sistema solar a qualquer velocidade, em qualquer direção e em qualquer época.
- Aplicativo *Eyes on the Solar System*, <<http://solarsystem.nasa.gov/eyes/>>, que pode ser utilizado acessando o endereço acima indicado, mas exige uma conexão de banda larga à internet. Como o Celestia permite viajar através de um modelo 3D do sistema solar, utilizando dados de missões reais da NASA.

REFERÊNCIAS

ABELL, George O., **Exploration of the Universe**. Philadelphia: Saunders College Publishing, 4th ed., 1988.

AFONSO, Germano Bruno. **As Constelações Indígenas Brasileiras**. Disponível em:

<<http://www.telescopiosnaescola.pro.br/indigenas.pdf>>. Acesso em: 23 jan 2012.

AFONSO, Germano Bruno. **Arqueoastronomia Brasileira**. Disponível em: <<http://www.ov.ufrj.br/AstroPoetas/Tuparetama/arqueoastronomia/>>. Acesso em: 20 fev 2012.

AFONSO, Germano Bruno. **O Nascer Heliaco da Plêiades**. Disponível em: <<http://www.ov.ufrj.br/AstroPoetas/Tuparetama/arqueoastronomia/arquivos/46.html>>. Acesso em: 25 fev 2012.

BISCH, S. M. **Astronomia no Ensino Fundamental: Natureza e Conteúdo do Conhecimento de Estudantes e Professores**. 1998. 301 f. Tese de doutorado – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em: <http://www.dme.ufscar.br/btdea/arquivos/td/1998_BISCH_T_USP.pdf> . Acesso em: 06 fev 2012.

BISCH, S. M.; ABOUD, J. C. R.; SOUZA, S. R.; VARGAS, F. C.; LOVAT, T. J. C.; MARTINS, P. C. M. **Estratégias para o Ensino de Astronomia na Educação Básica**. Minicurso apresentado no XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, ES, 26 a 30 jan/2009.

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

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental, **Parâmetros Curriculares Nacionais, Ciências Naturais, Terceiro e Quarto Ciclos do Ensino Fundamental**. Brasília: MEC/SEF, 1998. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf>>. Acesso em: 06 fev 2012.

BRASIL. Secretaria de Educação Básica, **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEB, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: 06 fev 2012.

CANIATO, Rodolpho. **O Céu**. São Paulo: Ed. Ática, 1993.

CANALLE, João Batista Garcia. **Oficina de Astronomia**. Disponível em: <www.telescopiosnaescola.pro.br/oficina.pdf>. Acesso em 24 fev 2012.

GOLDMAN, Stuart J. **Chaos in the Early Solar System**. Disponível em <<http://www.skyandtelescope.com/skytel/beyondthepage/8594717.html>>. Acesso em: 30 mar 2012.

IAU-INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION. **The Constellations**. Disponível em: <<http://www.iau.org/public/constellations/>>. Acesso em 26 fev 2012.

IAU-INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION. **IAU 2006 General Assembly: Result of the IAU Resolution votes**. Disponível em: <www.iau.org/public_press/news/detail/iau0603>. Acesso em 16 mar 2012.

IAU-INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION. **Resolution 5: Definition of a Planet in the Solar System; Resolution 6: Pluto**. Disponível em: <www.iau.org/static/resolutions/IAU2006_French.pdf>. Acesso em: 17 mar 2012.

IAU-INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION. **Pluto and the Developing Landscape of Our Solar System**. Disponível em: <<http://www.iau.org/public/pluto/>>. Acesso em 20 mar 2012.

OLIVEIRA FILHO, K. S. ; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004. Também disponível on-line: < <http://astro.if.ufrgs.br/>>. Acesso em: 24 fev 2012.

- MARTINS, Roberto de Andrade. **O Universo: teorias sobre sua origem e evolução**. São Paulo: Ed. Moderna, 1994. Disponível em: <<http://www.ghtc.usp.br/Universo/>>. Acesso em: 27 fev 2012.
- MORBIDELLI, Alessandro. **Origin and Dynamical Evolution of Comets and their Reservoirs**. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0512256v1.pdf>>. Acesso em 30 mar 2012.
- NASA. **NASA Eclipse Website**. Disponível em: <<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>>. Acesso em 05 mar 2012.
- NASA. **Solar System Exploration**. Disponível em: <<http://solarsystem.nasa.gov/index.cfm>>. Acesso em 06 fev 2012.
- NASA. **Mars Science Laboratory**. Disponível em: <<http://marsprogram.jpl.nasa.gov/msl/>>. Acesso em 08 fev 2012.
- NASA. **Ice on the Moon**. Disponível em: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/ice/ice_moon.html>. Acesso em 27 mar 2012.
- NOBELPRIZE.ORG. **The 2011 Nobel Prize in Physics - Press Release**, 04 out 2011. Disponível em: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/press.html>. Acesso em: 23 fev 2012.
- NOGUEIRA, Salvador; CANALLE, João Batista Garcia. **Astronomia: ensino fundamental e médio** (Coleção Explorando o Ensino, v. 11). Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=16903&Itemid=1139>. Acesso em: 26 fev 2012.
- SANTIAGO, Basilio; SALVIANO, Adriano. **Astronomia Geodésica: Posicionamento pelas Estrelas**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/livro_v1.pdf>. Acesso em: 06 fev 2012.
- STELLARIUM.ORG. **Stellarium 0.11.1**, nov 2011. Software livre do tipo planetário. Disponível em: <<http://www.stellarium.org/>>. Acesso em 24 fev 2012.
- THE PLANETARY SOCIETY. **Explore**. Disponível em: <www.planetary.org/explore>. Acesso em: 17 mar 2012.

WIKIPEDIA.ORG. **Solar System**. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_System#Trans-Neptunian_region>. Acesso em 23 fev 2012.

WIKIPEDIA.ORG. **Kuiper Belt**. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Kuiper_belt>. Acesso em 12 mar 2012.

WIKIPEDIA.ORG. **Water on Mars**. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Water_on_Mars#Mars_Rovers>. Acesso em 27 mar 2012.

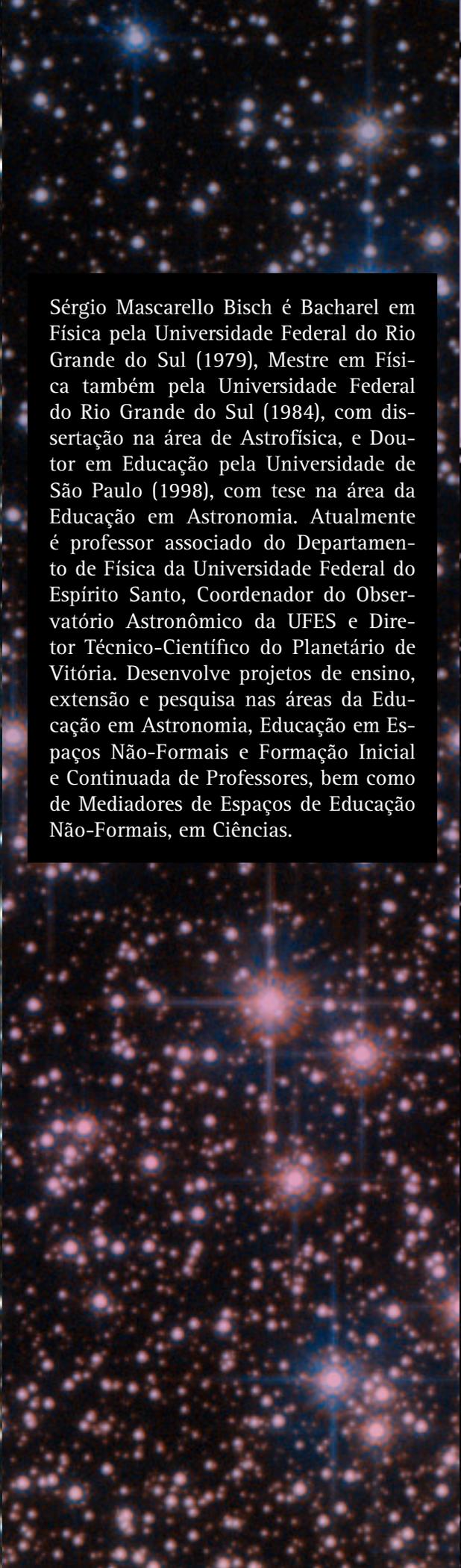
WIKIPEDIA.ORG. **Nice Model**. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Nice_model>. Acesso em 30 mar 2012.

ZEILIK, Michael, 1997. **Astronomy: the Evolving Universe**. New York: John Wiley.





Sérgio Mascarello Bisch é Bacharel em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1979), Mestre em Física também pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1984), com dissertação na área de Astrofísica, e Doutor em Educação pela Universidade de São Paulo (1998), com tese na área da Educação em Astronomia. Atualmente é professor associado do Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo, Coordenador do Observatório Astronômico da UFES e Diretor Técnico-Científico do Planetário de Vitória. Desenvolve projetos de ensino, extensão e pesquisa nas áreas da Educação em Astronomia, Educação em Espaços Não-Formais e Formação Inicial e Continuada de Professores, bem como de Mediadores de Espaços de Educação Não-Formais, em Ciências.





UFES

www.neaad.ufes.br

(27) 4009 2208

