



CURSO DE ASTRONOMIA GERAL

IOTA

CÉU

OCD
OBA

CURSO DE ASTRONOMIA GERAL

versão iota – outubro de 2012

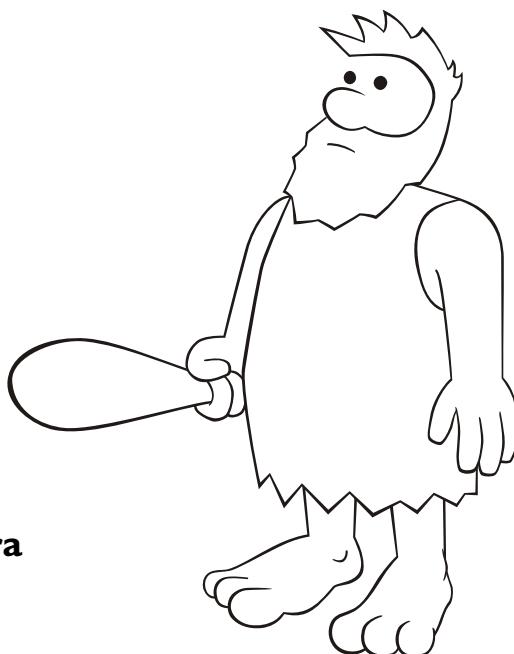
volume I : céu

escrito por:

Bruno L' Astorina
Felipe Gonçalves Assis
Julio Campagnolo
Victor Alves Alencar

e também por:

Alexandre Bagdonas
Felipe Augusto C. Pereira
Onias Castelo Branco Silveira
Pedro Rangel Caetano
Rafael Teixeira de Lima
Raul Celistrino Teixeira



Clero da Circunferência Divina

Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

Todos os volumes desta obra são licenciados como Creative Commons (CC BY-SA 3.0). Isso significa que você é livre para copiar, distribuir, transmitir ou adaptar este trabalho, desde que citada a fonte (Curso de Astronomia Geral do CCD-OBA) e que qualquer trabalho derivado deste seja liberado com a mesma licença.

Sumário

I	Mapeando	8
1	A Esfera	12
1.1	Hug-Bug e as Viagens	14
1.2	A Esfera da Terra	16
2	Mapeando o Céu	20
2.1	Os Antigos	21
2.1.1	Mitos Primordiais	22
2.1.2	Mitos Heróicos	25
2.1.3	Constelações Clássicas	27
2.2	Os Modernos	29
2.2.1	Plancius e Bayer	30
2.2.2	Hevelius e Lacaille	33
2.3	Os Contemporâneos	35
2.3.1	Lotes do Céu	35
3	Ligando as Estrelas	36
3.1	Asterismos	37
3.2	Alinhamentos	40
3.2.1	No Céu do Verão: de Órion	40
3.2.2	No Céu do Inverno: de Escorpião	41
3.2.3	No Sul: do Cruzeiro do Sul	42
3.2.4	No Norte: de Polaris e Pegasus	43
3.2.5	No Céu do Inverno-Norte: da Águia	43
3.2.6	No Vazio: de Grou	45
3.3	Triângulos	47
4	O Sol na Esfera	48
4.1	Caminho do Sol	49
4.1.1	Áries (♈)	52
4.1.2	Touro (♉)	53
4.1.3	Gêmeos (♊)	54
4.1.4	Câncer (♋)	55
4.1.5	Leão (♌)	56
4.1.6	Virgem (♍)	57
4.1.7	Libra (♎)	58
4.1.8	Escorpião (♏)	58
4.1.9	Sagitário (♐)	60
4.1.10	Capricórnio (♑)	60
4.1.11	Aquário (♒)	61

4.1.12	Peixes (♈)	62
4.2	13º Andar	63
II	Medindo	64
5	Distâncias e Tamanhos	67
6	Coordenadas Esféricas	69
6.1	Primeiras Coordenadas	69
6.1.1	Estrutura Básica	71
6.2	Equador e Polos	71
6.3	A Terra nas Coordenadas Esféricas	73
6.4	O Sol nas Coordenadas Esféricas	73
6.5	Sistema Universal	76
7	A Esfera e o Tempo	82
7.1	Dias	83
7.1.1	Tempo Sideral	83
7.1.2	de Sideral a Solar	84
7.1.3	de Solar a Civil	84
7.2	Meses	86
7.3	Anos	87
7.3.1	A Reforma	88
7.3.2	Ano Novo e Páscoa	89
7.4	Semanas	90
8	Analemas	95
8.1	Excentricidade	97
8.2	Inclinação	98
8.3	Distância do Periélio ao Equinócio	99
8.4	Outros Planetas	101
9	Precessão	105
9.1	Nutação	107
10	Movimento Próprio	108
III	Não-Estrelas	111
11	Lua	114
11.1	Faces e Fases	115
11.2	Libração	116
11.3	Eclipses	118
12	Planetas	122
13	Nebulosas	123
13.1	Nebulosas Mesmo	124
13.2	Aglomerados	128
13.3	Espirais	130

14 Via Láctea	135
IV Apêndices	139
A Constelações Oficiais	141
B Estrelas na Intimidade	144
C Catálogo Messier	153

Prefácio

Cada olhar envolve uma observação, cada observação uma reflexão, cada reflexão uma síntese: ao olharmos atentamente para o mundo, já estamos teorizando.

J. W. Goethe, *Doutrina das Cores*

Estas são as apostilas do Curso de Astronomia Geral do CCD-OBA, versão 1. Nosso objetivo principal, com o curso, é enriquecer a *formação* dos seus participantes. Por “formação”, referimo-nos a um processo que é, em sua essência, individual e único, composto amplamente pelo conjunto de experiências vividas por alguém. Citando Hans-Georg Gadamer, “Não é casual que a palavra formação se pareça, neste aspecto, ao grego *physis*. Como a natureza, a formação não conhece objetivos que lhe sejam exteriores.”

Isso quer dizer que a postura que procuraremos desenvolver se fundamenta na *autonomia intelectual*: cada indivíduo é senhor sobre a formação de seu próprio conhecimento. Tudo o que podemos fazer, enquanto organizadores do curso, é dar incentivo, buscando fornecer uma visão mais ampla a partir de nossas próprias experiências.

Convidamos para este curso pessoas que têm grande vontade de saber, esperamos fornecer conhecimento até elas saciarem essa vontade e, então, perceberem que ter aprendido aquilo tudo não faz sentido se, de alguma forma, não for passado adiante. Com isso o processo se retroalimenta, individual e coletivamente. Individual porque sempre aprendemos muito quando alguém nos ensina, mas aprendemos ainda mais quando nós ensinamos alguém, quando fazemos o esforço de pôr nosso conhecimento em frases organizadas e compreensíveis. Coletivamente porque os que aprenderem conosco agora estarão ensinando depois, como nós. Essa é precisamente a origem da CCD: ex-alunos da olimpíada que aprenderam muito, sozinhos e com a ajuda de livros, professores e astrônomos, e acabaram decidindo que precisavam escrever e organizar cursos com tudo o que sabiam. Dentre os autores desta versão 1 do Curso, há nomes de pessoas que, um ano atrás, eram alunos felizes e curiosos pelo que viria a seguir.

Nesse contexto, a Astronomia, por mais encantadora e atraente que seja para a maioria de nós, não é pensada como um fim em si próprio, mas como um lugar de articulação de saberes. Mostramos, ao longo das apostilas, o quanto a astronomia tem a ver com o desenvolvimento da física, da química e da matemática; mas, mais do que isso, quais são suas relações com a história, a filosofia, as religiões, as diferentes expressões artísticas e, enfim, com as diferentes visões de mundo que surgiram aqui e ali ao longo das histórias humanas. Em suma, não queremos Astronomia pela Astronomia, mas Astronomia por Tudo!

Assim, pretendemos desenvolver uma visão melhor e mais completa do mundo natural e, através disso, do mundo humano também. Fazemos isso, em particular, buscando desenvolver as seguintes habilidades/características individuais:

- Articulação lógica e formal (que tem a ver com a LINGUAGEM)
- Capacidade de abstrair e imaginar (relacionado ao PENSAMENTO)

- Cultura Experimental (característica da CIÊNCIA)
- Reflexão crítica sobre o conhecimento (papel da FILOSOFIA)
- Contemplação estética (o que chamamos de ARTE)

O material está dividido em cinco volumes, na ordem em que os assuntos pareceram mais naturais para nós. O Volume I, *Céu*, discute tudo o que pode ser observado. Discute também algumas interpretações, míticas, poéticas e teóricas, sobre as observações. Toda a matemática desenvolvida nele, portanto, está ligada à geometria dos céus, a Geometria Esférica. Talvez seja o volume com conteúdo mais diferente do que normalmente é visto no colégio. O Volume II, *Medidas*, está mais ligado à idéia e à prática dos experimentos; sua introdução a como tratar dados experimentais é uma introdução à abordagem algébrica que virá nos volumes seguintes. Além disso, ele procura desenvolver uma intuição sobre as técnicas e medição e os instrumentos (em particular os telescópios) necessários para se desenvolver qualquer outro instrumento astronômico. O Volume III, *Mecânica*, é o primeiro que trata de física. Ele introduz a mecânica aprendida no colégio, mas com as intuições nascidas da nossa própria experiência. Discute também a física no contexto da mudança da visão sobre o universo nos séculos XVI e XVII, que culmina com o nascimento da Mecânica Celeste. Discute, finalmente, a construção da própria Mecânica Celeste, com uma abordagem geométrica (que é clássica mas também incomum nos estudos de física de hoje em dia) e procurando criar uma boa intuição sobre movimentos livres em campos gravitacionais. O Volume IV, *Astrofísica*, também fala de física, mas de um caráter bem diferente: da constituição material do mundo, do caráter da luz e das interações atômicas. Nesse sentido, é um volume bastante ligado à química. Ele culmina com o estudo detalhado, dos pontos de vista teórico, experimental e observacional, de alguns objetos de interesse astronômico, passando por estrelas e sua evolução, mas também por aglomerados, galáxias e asteróides. Por fim, o Volume V, *Universo*, trata principalmente de Cosmologia, ou seja, da discussão sobre o universo como um todo. Como não poderia deixar de ser, ele alterna entre discussões filosóficas e matemáticas densas, pontuadas por alguns *insights* poéticos. Na segunda parte, há dois capítulos discutindo sobre a situação atual da pesquisa em astronomia no Brasil – o que é especialmente interessante para quem tem alguma pretensão de estudar ciência na universidade.

Além dessas apostilas, enviaremos outros materiais, como referências e algumas atividades práticas ao longo do curso. Incentivamos que as façam, de forma a complementar o conteúdo das apostilas. Aplicaremos também uma ou duas provas para selecionar os estudantes para a *International Olympiad on Astronomy and Astrophysics* (IOAA) e para a *Olimpiada Latinoamericana de Astronomía y Astronáutica* (OLAA). Além disso, esperamos engajar os participantes em algumas práticas, ligadas à noção de responsabilidade intelectual discutida acima: ensinar colegas, em discussões de grupo, aulas preparatórias para a próxima OBA ou aulas motivadoras em colégios de baixa renda; observar o céu com outros, em clubes de astronomia amadora e em *star parties*; envolver-se em projetos de pesquisa, junto a astrônomos amadores, professores universitários ou membros do CCD; integrar-se, por fim, ao nosso próprio grupo.

A primeira olimpíada internacional de astronomia foi fundada em 1996; é dois anos mais antiga, portanto, que a sua versão brasileira. Desde a fundação da OBA, há o compromisso de enviar times anualmente à olimpíada internacional – pelo qual sempre foi necessário fazer uma seleção justa e eficiente para montar as equipes. Este curso nasceu dessa necessidade: precisávamos, afinal, fornecer bases de conhecimento necessária aos que tivessem as habilidades e os interesses necessários. Nossos objetivos, contudo, já ultrapassaram em muito os objetivos da seleção. É o que esperamos que fique claro ao longo das páginas que se seguem.

Sobre este Volume

O Volume 1, Céu, foi pensado como a introdução aos estudos astronômicos que propomos; ele trata basicamente do que pode ser observado no céu, sem discutir interpretações físicas sobre isso. A Unidade 1 começa com um mapeamento do céu, suas estrelas e constelações; é especialmente interessante para os que gostam de observar o céu noturno. Uma novidade dele é a abordagem fortemente baseada na mitologia clássica.

A Unidade 2 é a continuação natural dos estudos da 1, mas com uma abordagem matemática. Em vez de mapear o céu com símbolos e constelações, mapeamos com ângulos e formas geométricas. De todo o curso, esta é a unidade mais importante para desenvolver uma boa visão espacial; nesse sentido, é essencial gastar algum tempo fazendo os exercícios de astronomia de posição.

A Unidade 3 volta à abordagem qualitativa da Unidade 1, tratando de outros objetos do céu: Lua, planetas, nebulosas, Via Láctea. Novamente, seu foco é em como esses objetos são observados no céu noturno. Para os que têm preguiça com números e formas, essa unidade pode ser lida sem problemas pulando-se a 2.

Unidade I

Mapeando

Então ele olhou novamente para o céu, desconcertantemente preto, e teve a sensação de que havia uma questão importante aí – se ao menos pudesse definir qual era. A sensação era a de estar sozinho no Universo, que foi o que ele disse para os outros.

– Não – disse Slartibartfast, apressando ligeiramente o passo – o povo de Krikkit nunca pensou “Estamos sozinhos no Universo”. Eles estão cercados por uma enorme Nuvem de Poeira, entende? Um único sol com um único mundo e estão na extremidade leste da Galáxia. Por causa da Nuvem de Poeira, nunca houve nada para ser visto no céu. Durante a noite, é completamente escuro. Durante o dia há o sol, mas não é possível olhar diretamente para o sol, então eles não olham. Quase não percebem que há um céu. É como se tivessem um ponto cego que se estende 180 graus, de um horizonte ao outro.

– O único motivo pelo qual nunca pensaram “Estamos sozinhos no Universo” é porque, até esta noite, eles sequer sabiam que há um Universo.

Douglas Adams. A Vida, O Universo e Tudo o Mais.

Antes de começar a observar o céu, todo astrônomo observacional precisa responder a uma pergunta fundamental: será que vai chover?

Certa vez estava eu, Victor, em viagem pelo interior do meu estado, o Ceará. Enquanto estava parado em um restaurante na beira de uma estrada, escutei dois senhores idosos, com idade próxima aos 60 anos, conversando. Como gosto de escutar pessoas de gerações diferentes da minha (para ganhar novos pontos de vista sobre as coisas), parei e fiquei escutando.

Um dos senhores perguntava ao outro: “será que vai chover?”. Quando escutei essa frase, comecei a imaginar alguma resposta ligada, por exemplo, à presença de algum pássaro que aparece em épocas de chuva, ou ao vento soprando de alguma região específica. Felizmente, entretanto, a resposta que eu escutei não era nada do que eu esperava.

O outro senhor, mais velho e aparentemente mais sábio, respondeu com um ar de felicidade

– Ora se num vai! Num viu as estrela não?! As bichinha chega tão agoniada, se tremendo todinha, doidinha por água!

Aquele senhor acertou na sua previsão; não demorou a começar a chover. Eu poderia apostar como aquele senhor conhece o céu melhor que muitos astrônomos famosos. Isso por um simples motivo: é do céu que ele sustenta a sua casa. Da mesma forma, faz milhares de anos que os agricultores (e outras pessoas também) possuem essa “sabedoria prática” sobre o céu. Creio que aquele senhor não conhece nenhuma estrela por nome, muito menos qualquer mito grego associado a qualquer constelação. Ele próprio deve ter seus causos e suas histórias para contar sobre o firmamento.

A explicação física que costumamos dar à cintilação das estrelas está de fato relacionada a fenômenos atmosféricos: quando a luz de uma estrela entra pela atmosfera, atravessando várias

camadas de ar com temperaturas e densidades diferentes e variáveis (conseqüentemente, com índices de refração diferentes e variáveis), as estrelas sofrem variações abruptas na intensidade de seu brilho e na sua posição aparente no céu. Quando a atmosfera está calma, o caminho percorrido pela luz é menos turbulento, o que faz as estrelas cintilarem menos.

Além disso, quanto mais próxima uma estrela está do horizonte, maior a camada de atmosfera que sua luz tem que percorrer. Por isso, enquanto estrelas no zênite nos esmagam com seu brilho sólido (a menos que seja um dia de vento); enquanto ela está nascendo ou se pondo, o que menos vemos é solidez. Quando se trata da Lua Cheia nascendo, por exemplo, temos a impressão de que suas bordas estão em chamas, mas basta que ela suba algumas dezenas de graus para que crie o clima bucólico característico das noites de Lua Cheia.

Em épocas chuvosas, quando o vento é mais violento que o normal e a atmosfera está carregada de umidade, a cintilação é muito mais visível do que na situação da qual vinham os dois senhores que conversavam, já que o local passava por tempos de seca. Assim, a cintilação de fato anunciava uma mudança nas condições climáticas.

A conversa dos dois senhores ainda continuou. Depois das estrelas se tremendo por água, o assunto mudou para a morte. É um assunto incrivelmente recorrente em cidades do interior. Mas continuei a escutar com atenção. Um dos dois senhores, de aparência um pouco mais nova, disse ao outro que as estrelas eram “bichos estranhos”. Ele disse que, muitos anos atrás, seu pai lhe contara a história do avô dele que, ao ver três vezes consecutivas a estrela branca pertinho do “anzol do céu”, não demorou mais que dois anos até vir a falecer.

Neste momento, meu interesse pelo assunto já era evidente, e minha presença e atenção já indicava de alguma forma que eu poderia fazer parte da conversa. Então eu me adiantei e perguntei “seu avô morreu com quantos anos?”. A resposta foi clara: 75 anos. Então voltei a lhe perguntar: “e a primeira vez que ele viu essa estrela branca no anzol foi com quantos anos?”. Ele me respondeu que a primeira ele tinha uns 14 anos. Já que a terceira visualização foi com 73, a terceira deve ter sido por volta dos 45 anos.

Na mesma hora me veio à memória a lenda grega de *Cronos* (Saturno, para os romanos), o deus do tempo: qualquer um que visse duas passagens seguidas de Cronos por uma mesma posição do céu já poderia esperar o fim de sua vida. Se chegasse a ver três vezes seguidas, era um idoso de de muita sorte. Naquela época, a expectativa de vida devia girar em torno dos 30 ou 40 anos. Como o planeta Saturno demora cerca de 30 anos para voltar ao mesmo lugar no céu (é o valor de seu período sinódico), vê-lo duas vezes no mesmo lugar, naquela época, significava ter vivido 30 anos além da idade que se tinha quando se viu pela primeira vez (provavelmente a comparação seria feita com alguma memória da infância).

Quando aquele senhor me disse as idades de seu avô, percebi então que, ao falar da estrela branca, ele estava se referindo ao planeta Saturno. Quanto ao anzol do céu, provavelmente era o Escorpião, pelo formato e pelo fato de ser uma constelação da eclíptica. Depois me lembrei que os chineses antigos - coincidência ou não - também chamavam de anzol a cauda do Escorpião.

A essa altura, meus pais já tinham terminado de lanchar e estavam de volta ao carro, ligeiramente impacientes para voltar à estrada. Pena não ter tido mais tempo para conversar com aqueles sábios senhores sobre os seus conhecimentos do céu. Foi uma verdadeira aula de astronomia observacional, de conhecimentos práticos e representações do céu. O mesmo conhecimento que eu já cultivava, mas sobre outra roupagem, nascido de um contexto diferente, muito mais comprometido com a praticidade dos trabalhos rurais. É como se houvesse algo de mais profundo e fundamental, para a vida das pessoas, em contemplar e conhecer as mudanças celestes. A mesma lenda que era contada a mais de 2000 anos, nascida em outro local, com outra cultura, mas com os mesmos princípios. Porque, afinal, se vivemos em culturas e ambientes muito diferentes ao redor do planeta, o céu é uma coisa que compartilhamos.

Capítulo 1

A Esfera

Por si só o Céu existiu.

Popol-Vuh dos Maias-Quichés

A primeira coisa que os antigos povos viram ao olhar pro alto foi o céu. Inacreditável, não? Começaram a observar tudo o que havia e acontecia nele: parecia uma grande cúpula que encobria a Terra plana; parte do tempo era negra, outra era azul e nas transições ficava amarelada, laranja e vermelha. Incrustadas nessa cúpula havia alguns pontos brilhantes aparentemente fixos. Às vezes aparecia também um disco claro que mudava de forma sempre que escurecia: o disco ia ficando oval, depois com formato de foice e afinava até sumir. Em contrapartida, uma bola muito brilhante era sempre vista quando a cúpula estava clara: parecia até que era essa bola que a tornava clara e iluminava tudo, permitindo atividades que necessitam de iluminação, como a caça.

Mas o céu era enorme, abraçava, agarrava tudo, não se podia escapar dele. A terra firme desaparecia diante da contemplação da imensidão azul que parecia ter o poder de fazer tudo sumir: quando a bola amarela ia embora, levava com ela as cores e o calor, trazia sons estranhos e animais diferentes, perigosos, além daqueles incontáveis pontos brilhantes que lhe vigiavam e o faziam sentir pequeno, pouco, indefeso perante o que parecia não acabar.

Então o homem começou a explicar esta entidade. Enquanto as religiões surgiam no mundo, o céu ganhava atenção especial, seja como portal para a vida eterna ou como pai de tudo que há¹.

Hoje já explicamos bastante sobre essa cúpula que chamamos de céu. Nossas concepções sobre ele são bem diferentes. Acreditamos, por exemplo, que não há nada de cúpula no céu e que aqueles pontos luminosos que chamamos de estrelas, para as quais já temos explicações razoáveis, estão a diferentes distâncias de nós. Através do conhecimento do céu, fomos capazes de dizer muito também sobre a nossa Terra: que não é plana, por exemplo, como veremos a seguir.

Algumas perguntas podem surgir neste ponto. Uma bastante importante e que colocou em dúvida muito do que nossos modelos nos disseram até hoje foi: por que o céu nos parece uma esfera (onde todos os pontos equidistam de um centro), se dissemos que as estrelas (os pontos da esfera) estão todas a diferentes distâncias da Terra?

¹Inúmeros são os mitos em que o Céu e Terra eram representados por Homem e Mulher. O Céu deita-se sobre a Terra, protegendo-a, e a fertiliza com seus líquidos, ou seja, a chuva. Também podemos citar aqui a crença Cristã e de várias outras religiões, na qual após a morte a alma da pessoa se dirige ao céu para viver o resto da eternidade ou esperar a reencarnação.

Essa resposta é muito simples: isso se deve a um defeito da nossa visão na detecção das distâncias das estrelas.

Nosso cérebro se utiliza de diversas técnicas para medir a distância a um determinado objeto que vemos. Porém estas técnicas possuem limitações. Quando nosso cérebro não consegue saber a distância relativa à dois objetos, ele arbitrariamente coloca os dois a uma mesma distância na interpretação da imagem que vemos. Logo, quando olhamos, todas as estrelas, planetas, satélites parecem estar a uma mesma distância, o que configura uma esfera – a ESFERA CELESTE.

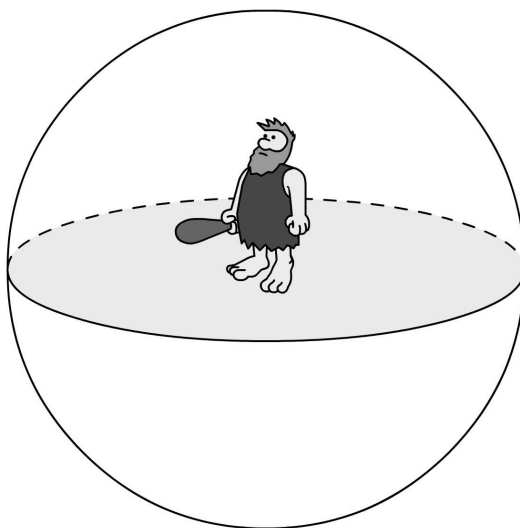


Figura 1.1: Hug-Bug, nosso homem antigo, na Esfera Celeste.

Esse plano onde o Hug-Bug está - a Terra - faz um círculo quando cruza com a Esfera Celeste. Esse círculo é chamado de HORIZONTE, e marca o limite das coisas que conseguimos ver da Esfera. O resto da esfera está abaixo de nós, invisível.

Na prática, o limite de visibilidade do céu é um pouco mais irregular; temos montanhas, vales, construções... Só temos o horizonte bem formado se estivermos isolados em um barco no meio do oceano. Muitos chamam isso de HORIZONTE VERDADEIRO e, o definido pelo plano, HORIZONTE ASTRONÔMICO.

O ponto mais alto do céu, sob nossas cabeças, é chamado ZÊNITE. É bem mais fácil definir o zênite do que definir o horizonte: basta fixarmos uma haste vertical no chão ou, melhor ainda, um longo fio com um peso preso na sua ponta.

O céu quando anoitece mostra sua verdadeira decoração. Um azul muito escuro, pálido e assustador. De uma profundidade que os olhos se perdem se tentam se fixar nele. Se tudo o que tivéssemos sobre nós fosse o grande manto azul, o mundo seria muito assustador. Mas providencialmente pintaram marcas sobre a cerâmica índigo do céu: Diversos pontos brancos, brilhantes, quentes e confortantes. Os pontos, junto com algumas manchas esbranquiçadas espalhadas. Os pontos formam padrões, figuras, que podem ser conhecidas e memorizadas.

Esses padrões dos pontos brilhantes chamados estrelas estão sempre lá, noite após noite. Mas eles se movem. As estrelas todas se movem juntas, nascendo e se pondo. É como se a Grande Esfera, atravessada por um palito de churrasco que a cortasse pelo centro, girasse com esse palito.

No entanto, com o surgimento de grandes expedições militares e viagens de comércio entre os continentes, os viajantes fizeram novas constatações a respeito da Esfera Celeste.

Nos lugares que ficam na linha que hoje chamamos de *Equador da Terra*, as estrelas se movem

verticalmente: nascem em um lado do céu, sobem até o ponto mais alto de sua trajetória, descem pelo lado oposto. Assim, depois que a Esfera completa um giro, teremos visto toda a sua decoração, todas as suas estrelas.

Se tomarmos uma estrela que nasce exatamente no ponto cardeal Leste, sua trajetória no céu será um **CÍRCULO MÁXIMO** da esfera ², passando pelo zênite. Esse círculo é chamado de **EQUADOR CELESTE**. Este nome é porque ele divide a Esfera Celeste em duas *Partes Equales*.

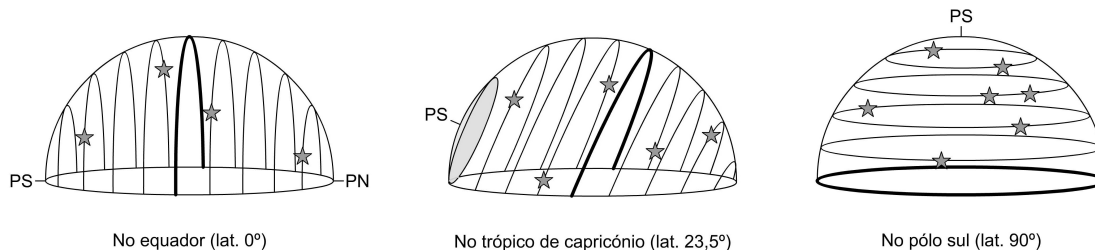


Figura 1.2: “Caminhar das Estrelas” ao longo do dia.

Mas este é apenas o início. Conhecendo os padrões do céu, Hug-Bug conhece o mundo. Conhecendo o mundo, Hug-Bug pode explorá-lo. Ele pode viajar tão longe quanto sua coragem permitir. O que encontrará Hug-Bug em terras distantes? O céu ainda será o mesmo a guiá-lo? Não parece. Mesmo nas mitologias, vemos que o céu surpreende. Tomemos como exemplo um relato de um viajante célebre da mitologia tolkieniana: Aragorn, filho de Arathorn ³.

Tive uma vida dura e longa; e as milhas que se estendem entre este lugar e Gondor são uma pequena fração na soma de minhas viagens. Atravessei muitas montanhas e muitos rios, e pisei em muitas planícies, chegando até mesmo às regiões distantes de Rhûn e Harad, onde as estrelas são estranhas.

(J.R.R. Tolkien. O Senhor dos Anéis).

Vamos nós mesmos preparar nossa viagem mental.

1.1 Hug-Bug e as Viagens

Para viajar, precisamos estabelecer algumas referências que nos guiarão. É importante definir em que direção viajamos. Vamos estabelecer então direções baseados no movimento do céu. O lado do qual as estrelas emergem será chamado **LESTE**, o lado no qual elas submergem, **OESTE**. Para sermos precisos, usaremos a trajetória daquela estrela que desenha um círculo máximo no céu, o **EQUADOR CELESTE**. A Direção Leste é a dada pelo local onde o Equador Celeste cruza o lado Leste, e a Direção Oeste, onde ele cruza o lado Oeste.

Assim definimos um eixo na Terra. Podemos fazer um risco no chão, de uma reta. Se viajarmos para o Leste, na direção do nascente, veremos as estrelas nascerem cada vez mais cedo

² *Círculo Máximo*, ou *círculo de diâmetro*, é qualquer círculo que divida uma esfera em duas partes iguais. Essas duas partes são as duas *semi-esferas*, ou *hemisférios*.

³ O mundo de J. R. R. Tolkien, nas primeiras eras de sua existência, era plano; a partir de uma grande catástrofe cosmológica (a queda de Númenor), os deuses a transformaram em uma Esfera, para que os navegantes que pretendessem atingir novamente o continente dos deuses não conseguissem, e em vez disso dessem uma volta e acabassem voltando à Terra Média. Nos tempos de Aragorn como se pode ver, o mundo já era esférico.

(e se por mais cedo também); se viajarmos a Oeste, estaremos nos adiantando com relação às estrelas, pelo que elas demorarão mais para se pôr (e também nascerão mais tarde). Causaríamos mudanças temporais no céu – é o que acontece quando fazemos uma viagem para outro fuso horário⁴ - mas o céu a ser visto seria sempre o mesmo.

Para vermos novos céus, tentemos então viajar na direção perpendicular à Leste-Oeste. Fazemos então um risco perpendicular àquele que fizemos no início: a cruz dos viajantes. Virados para o Oeste, nosso braço direito indica a direção que chamaremos de NORTE; o braço esquerdo indica o SUL.

Olhe o céu em uma destas direções. Conforme tomamos estrelas mais ao norte ou mais ao sul, menores são os arcos feitos por elas no céu. Se houvesse uma estrela no ponto em que nossa linha perpendicular, infinitamente prolongada, cruza a Esfera, ela sequer se moveria; ela estaria exatamente onde passa o eixo de rotação do céu. Esses pontos são os PÓLOS CELESTES: o Pólo Norte e o Pólo Sul. De fato, se andarmos para o Norte, conseguiremos ver que existe uma estrela bastante brilhante, neste ponto. Ela é por isso chamada de *Estrela Polar* ou, usando o nome em latim⁵, *Polaris*. No pólo sul também temos uma estrela dessas, mas muito pouco brilhante (quase invisível a olho nu), chamada *Sigma Octans*. Pela facilidade de guia, vamos para o Norte (sabendo que para o Sul a situação é análoga).

O céu é curioso. Conforme andamos na direção Norte, vemos o Pólo Norte emergir, ficar cada vez mais alto no céu. Quanto mais andamos, mais ele sobe. Os arcos que as estrelas vão fazendo no céu ficam cada vez mais inclinados. Mas o Equador continua dividindo o céu em duas partes, e continua definindo o Leste e o Oeste na nossa caminhada.

Repare na Figura 1.2 que, com os círculos inclinados, as estrelas passam tempos diferentes aparecendo no céu. O Equador continua aparecendo pela metade, mas outros círculos têm partes maiores acima do horizonte. As estrelas mais próximas ao Pólo mesmo param de nascer e se pôr! Elas descrevem seus círculos inteiros acima do horizonte. Por isso, são conhecidas como ESTRELAS CIRCUMPOLARES.

Mas nossa viagem tem um limite. Haverá um ponto em que o Pólo Norte estará sobre nossa cabeça, coincidindo com o nosso zênite. Neste ponto, o Equador estará completamente deitado no nosso horizonte. As estrelas estarão se movendo de um jeito curioso: seus círculos de revolução serão todos horizontais! Nenhuma estrela mais nasce ou se põe; todas as estrelas são circumpolares. A mesma situação no Pólo Sul? Com a diferença de que as estrelas estarão girando no outro sentido. Estas duas regiões embaixo dos Pólos Celestes são conhecidas como os PÓLOS DA TERRA.

As estrelas nunca se porem têm uma consequência desagradável: se elas nunca cedem lugar a outras, só elas são visíveis, permanentemente. Os habitantes do pólo veriam sempre o mesmo céu, girando horizontalmente. No Pólo Norte vê-se uma metade da Esfera; no Pólo Sul, a outra metade. Da mesma forma, nos outros lugares fora do Equador da Terra, onde existem estrelas circumpolares, existem também estrelas permanentemente invisíveis: são as que são circumpolares para os que estão mais próximos do outro pólo.

Chegando no pólo, acontece uma catástrofe para as direções que nos orientam: elas deixam de ser definidas! O Equador agora toca o Horizonte em todos os pontos, não podendo mais definir Leste e Oeste. O Pólo Norte está sob nossa cabeça, então não há mais direção Norte sobre a Terra para seguirmos. Em qualquer direção que andarmos, estaremos indo na direção do Pólo Sul! Estamos perdidos!

Mas basta um pouco de memória para sair dessa situação. Continuemos andando em linha reta, seguindo na direção oposta de onde viemos. Se dermos um passo para frente, as direções já voltam a ser definidas - embora muito difíceis de medir ainda. A *Polaris* terá descido um

⁴Falaremos melhor sobre os Fusos Horários no Capítulo 17, da Unidade de Geometria.

⁵O nome oficial da maioria das estrelas é em latim, grego ou árabe. Mais à frente veremos por que.

pouquinho às nossas costas. Um passo para trás e estaremos andando novamente para o Norte; continuemos para frente e estaremos indo para o Sul. Definindo estas duas, definimos também as perpendiculares, Leste e Oeste. Só um ponto é problemático.

Com isso entendemos melhor a fala de Aragorn, apresentada antes. As terras de Harad são muito ao sul, para além do mundo que é familiar para ele. Este mundo é, provavelmente, mais perto do Pólo Norte; indo para o sul, muitas estrelas deixaram de ser circumpolares para ele, e muitas estrelas invisíveis, próximas ao Pólo Sul, passaram a ser visíveis. Estrelas novas, estranhas. . .

Tolo homem que se guia nas regularidades e vai além do que elas permitem! Perde-se, naturalmente. Precisa redefinir suas referências, reexplicar o mundo. Se o mundo fosse um gigantesco plano, a Esfera Celeste deveria ser vista do mesmo modo por qualquer homem. Se andássemos muito para o Sul ou para o Norte, nos aproximaríamos de uma das estrelas polares, dos limites do céu. Mas não vemos isso; as estrelas parecem manter a mesma distância segura de nós, aventureiros petulantes. Mas o céu gira conforme andamos nestas direções. O mundo antigo não serve mais, algo novo nos aguarda. Esperto homem que explora suas regularidades até o limite em que elas não resistem mais. O universo pede para ser reexplicado.

Assim, um mundo plano não resiste a viagens longas, grandes expedições militares ou de comércio entre continentes. Todos os povos que fizeram essas viagens trataram de reexplicar o mundo.

1.2 A Esfera da Terra

Dentre as muitas explicações possíveis, ficaremos de novo com a Esfera: a Terra, assim como o Céu, é esférica. O *Tratado da Esfera*⁶, livro de astronomia muito popular nas universidades medievais, traz a seguinte explicação:

Que a Terra seja, outrossim, redonda se prova: porque os signos e as estrelas (...) primeiro nascem e se põem aos que vivem no oriente e depois aos que vivem no ocidente. (...)

Pois que também seja redonda de norte para sul tem sua prova: porque aos que vivem na banda do norte as estrelas que estão junto ao pólo ártico nunca se lhe põem, e as que estão junto ao pólo antártico nunca se lhes nascem nem nunca podem ver.

No período em que a Grécia Antiga se tornou parte do grande império de Alexandre, que se estendia da península grega até quase a Índia, o fluxo populacional entre cidades distantes aumentou muito, e permaneceu assim com os reinos helenísticos, depois que Alexandre morreu. Foi nessa época que *Eratóstenes de Alexandria*, usando um argumento similar ao supracitado, não só mostrou que a Terra era redonda como estimou seu raio.

Para esta estimativa, Eratóstenes usou algo que era conhecido pelos habitantes da cidade de *Siena*⁷: que no solstício de verão⁸, o Sol podia ser visto projetado no fundo dos poços de água – ou seja, passava pelo zênite da cidade. Ele então montou um gnômon em sua cidade, Alexandria: uma haste horizontal para medir a sombra projetada pelo Sol, e com isso sua altura no céu. Encontrou que, ao meio dia do solstício de verão, o Sol culminava a uns 7,25° sul

⁶ O *Tratado da Esfera (Tractatus De Sphaera Mundi)*, no original em latim) foi escrito por volta de 1220 por Johannes de Sacrobosco, na então recém-fundada Universidade de Paris. A intenção da obra era apenas servir de livro didático para o ensino de astronomia na Universidade, mas ele acabou sendo utilíssimo na formação dos navegadores portugueses e espanhóis que descobririam o Novo Mundo.

⁷ Repare que esta cidade não tem nada a ver com Siena, na Itália, muito mais ao norte; a Siena do Egito é uma cidade antiga; no lugar dela, hoje existe a cidade egípcia de Assuã.

⁸ Solstícios e Equinócios irão ser explicados melhor no próximo capítulo, agora basta saber que no dia do solstício de verão o Sol incide perpendicularmente sobre as cidades sobre os trópicos, como é o caso de Siena

do ponto mais alto do céu. Finalmente, contratou um agrimensor que mediu a distância entre Alexandria e Siena: 5.000 *estádios* andando para o sul. O estádio é uma antiga unidade de medida de comprimento, muito utilizada nesse período. O erro de seus cálculos parece ter sido de menos de 20%, para cima.



Figura 1.3: Mapa mostrando Alexandria e Siena.

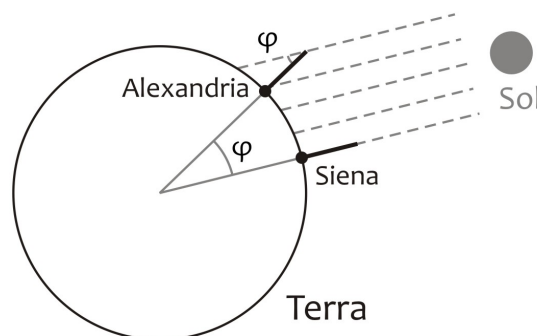


Figura 1.4: Desenho esquemático mostrando a situação de que Eratóstenes se utilizou para determinar o raio da Terra.

- 1- Sabendo que você está a aproximadamente 6370 km do centro da Terra, quantos metros, aproximadamente, correspondem a um estádio?

Outro argumento a favor esfericidade da Terra está associado às navegações – e aparece também no Tratado da Esfera. Conforme navios se afastam dos portos, seus cascos vão aos poucos desaparecendo, como se fossem sendo engolidos pelo mar (o que assustava bastante os navegadores e causou o surgimento de várias lendas sobre monstros no “fim do mar”, ou no “fim do mundo”). Só depois some toda a popa, e depois ainda as velas, e o mastro. Do ponto de vista de quem está dentro do barco, o mesmo poderia ser visto em relação ao continente, com a terra sumindo, e depois sumindo o farol do porto ou as torres dos castelos.



Figura 1.5: O argumento do mastro do navio. Figura retirada do Tratado da Esfera

Na verdade esta é a típica experiência em que todo o mundo acredita mas que não pode ser realizada – ou não podia, na época em que era usada como argumento. Quando um navio está longe o suficiente para sumir no horizonte, não é possível distinguir, a olho nu, o mastro do casco ou qualquer outra parte do navio! O mesmo pode ser dito sobre quem está dentro do navio e olha para Terra firme. O que pode, sim, ser visto, é o navio ser tragado, inteiro, pelo horizonte, ou o continente desaparecer inteiro no alto-mar. De qualquer forma, experimentos mentais, como a viagem que fizemos páginas atrás, sempre desempenharam um papel fundamental na história do conhecimento.

Todos aprendemos no colégio que a Terra é uma Esfera, mas na maior parte do tempo não damos conta de todas as incríveis consequências disso. Então aqui vão alguns exercícios mentais para o leitor se divertir; confrontações com situações-limite que nos levam a pensar mais amplamente na geometria do nosso planeta, desatrofiando nossa visão espacial :).

- 2- Aonde chegará um viajante se ele se mantiver sempre caminhando para
 - (a) Norte
 - (b) Sul
 - (c) Leste
 - (d) Oeste
- 3- Aonde ele chegará se se mantiver andando na direção sudoeste? Quantos quilômetros ele terá andado até o seu ponto final? Quantas voltas ele terá dado em torno deste ponto?
- 4- Agora o viajante quer construir uma casa para morar. Ele quer construir uma casa simples, quadrada, com quatro paredes externas e uma janela em cada parede. Em que lugar da Terra ele poderia construir essa casa para que todas as suas janelas fiquem voltadas para o norte? Para ir à lareira, no meio da sala, ele sempre tem que andar para o sul?
- 5- O viajante caminha 10 quilômetros para o Norte, 10 quilômetros para Oeste e 10 quilômetros para o Sul; assim, e acaba no mesmo ponto de onde saiu inicialmente. Onde ele estava? (Considere outras soluções além da convencional!!!)
- 6- O viajante agora perdeu a bússola e passou a se orientar somente no início de sua trajetória. Ele vira-se para o Sul e caminha 10 quilômetros em linha reta (repare que isto é diferente de

caminhar sempre verificando que seu caminho o leva para o Sul); depois vira-se para Oeste e caminha mais 10 quilômetros; vira-se para Sul novamente e caminha mais dez quilômetros; vira-se para Leste e completa mais 10 quilômetros, com o que acaba no ponto de onde saiu. Onde ele estava?

- 7- O viajante agora vira-se para o Sul e caminha 10 quilômetros, com o que volta para o ponto de onde saiu. Onde ele estava?
- 8- Se dois navegadores decidem dar a volta na Terra, um navegando de Norte a Sul e outro de Leste a Oeste, ambos à mesma velocidade, qual completará primeiro a viagem?
- 9- Um avião precisa chegar a um lugar que fica 40° a Leste de onde está. O copiloto então sugere que o avião voe sempre a Oeste, que este será o caminho mais rápido até o destino. O copiloto está certo?
- 10- Uma milha marítima é definida como o comprimento de um arco de um minuto ($1/60$ de grau) no equador. Quanto mede a milha marítima em quilômetros?

Capítulo 2

Mapeando o Céu

Agora que estabelecemos que nosso Céu é, pelo menos aqui, uma Esfera, podemos começar a mapeá-lo. Mas porque mapear? Um mapa é uma representação, em papel ou na mente, de um lugar amplo o suficiente para que não possa ser visto todo de uma vez, ou que não possa ser visto de uma boa posição. Ele destaca, para o mapista, todas as coisas que são consideradas importantes naquele lugar: cidades, estradas, plantações, filiais do McDonald's. Capturando o essencial do lugar, o mapa captura para nós o lugar, nos deixa tranquilos, seguros para viajar por aquele lugar. Um mapa é uma garantia, um guia para o desconhecido.

Por isso é que, antes de explorar os objetos celestes, vamos mapeá-los.

Muitos de vocês já devem ter olhado para uma carta celeste moderna, não é verdade? As constelações são como países, com territórios bem definidos e que se encaixam perfeitamente, cobrindo toda a Esfera. Assim, todo pedaço do céu pertence a alguma constelação; nenhum pedaço do céu pertence a duas delas. Mas nem sempre o céu foi assim, com territórios bem repartidos; na verdade, essa repartição é bem recente, oficializada na União Astronômica Internacional (sigla em inglês IAU) de 1930, oficializando o número de constelações em 88 (O Apêndice A traz uma lista completa dessas constelações).

Antes disso, o céu era mapeado não com áreas, mas com símbolos: animais, deuses, personagens ou objetos que eram significativos para uma certa cultura, uma certa época. Afinal, não se trata de uma mapa de qualquer coisa, mas do Céu!, que cobre todos os lugares onde há vida, que regula a própria vida e regula as atividades de seu oposto, a Terra.

Assim, povos caçadores faziam constelações com figuras de caçador com um porrete e seus cães (*Orion*, *Cão Maior* e *Cão Menor*); se eram agricultores, faziam constelações ligadas aos períodos das cheias e chuvas (*Aquário*) ou ao período da colheita (*Virgem*¹). Faziam também constelações de animais importantes, de deuses em figuras concretas (em forma humana) ou de forma abstrata (como as *Mansões Celestes* chinesas).

De uma forma geral, constelações eram feitas ligando-se as estrelas e formando desenhos, como nas atividades infantis de ligar os pontos. Algumas vezes, entretanto, outros elementos do céu eram utilizados: um exemplo brasileiro é a constelação indígena da EMA CELESTE que, para marcar seu desenho, além de estrelas, usa também a textura de fundo do céu - a Via Láctea, para fazer a plumagem, e a nebulosa escura do Saco de Carvão, no Cruzeiro do Sul, para ser a cabeça². De toda forma, é importante lembrar que as constelações são apenas projeções, agrupamentos

¹Na Grécia Arcaica, eram as mulheres as responsáveis pela colheita. De fato, na figura da constelação, a "virgem" segura uma espiga de trigo – de onde veio o nome da estrela mais brilhante das constelação, Spica.

²Para mais informações sobre esta e outras constelações indígenas brasileiras, leia o artigo "As constelações indígenas brasileiras", de Germano Afonso (UFPR). O artigo pode ser baixado no seguinte link: <http://www.telescopiosnaescola.pro.br/indigenas.pdf>

pertencentes ao nosso mapa; elas não correspondem necessariamente a uma realidade física. Nada obriga as estrelas que compõem uma constelação a estarem juntas no espaço – de fato, em quase todas as vezes, elas estão a distâncias bem diferentes.

Quando uma cultura sofria influência de outra, ou quando era herdeira de outra, seu céu era influenciado ou herdado na mesma medida. Mesmo culturas sem conexão aparente, por vezes, compartilham constelações semelhantes; ou porque símbolos muito fortes são compartilhados por ambas, ou pela simples semelhança evidente daquela parte do céu com o objeto ou animal. Assim, o Touro, um símbolo mitológico dos mais fortes nas culturas da Europa e Ásia Centrais, era encontrado em lugares tão diferentes quanto as pinturas pré-históricas da caverna de Lascaux, vasos de cerâmica da Grécia Clássica ou pinturas indianas. A cauda do Escorpião, por outro lado, é tão destacada no céu, e lembra tanto a cauda de um escorpião, que parece difícil povos que convivem com esse animal não terem feito a associação. Em outros lugares do mundo, como nas culturas indígenas da América do Sul, ela representava a pata da constelação da Ema; do outro lado do mundo, ela corresponde à mesma coisa na constelação do *Emu*, um parente de Ema comum entre os aborígenes australianos.

As constelações oficiais, ou seus correspondentes míticos, vieram todos da cultura européia, ou do que os europeus consideram sua *cultura clássica*: Grécia e Roma antigas. Por isso, precisamos conhecer os mitos e histórias gregas (e de seus antecedentes) para entender a lógica das constelações, ou mesmo memorizá-las com mais facilidade.

2.1 Os Antigos

No início, havia pessoas. Elas olhavam para cima e viam o céu, e o céu era importante para elas. A vida então estava em todo lugar: nas plantas, nas rochas, nas montanhas, no céu. Com o tempo, as vidas das coisas se tornaram espíritos, separados das coisas mesmas. Assim, os homens lidavam com a natureza da mesma forma que lidavam com outros homens. Rituais, feitiços e mandingas eram práticas normais para lidar com esses espíritos da natureza. Seguindo as palavras de Edward Harrison³:

O universo mágico era perfeitamente racional, segundo seus princípios. Devemos pôr de lado as histórias de que pessoas primitivas não podiam prever nada por causa do capricho dos espíritos. Povos humanos e seus povos de espíritos não eram mais caprichosos em seu comportamento do que somos hoje. O comportamento dos espíritos refletia o comportamento humano, e seres humanos previam os atos dos espíritos na mesma extensão em que podiam prever atos de outros humanos. (...) O universo mágico consistia literalmente em vida confrontando vida.

O que parece para nós uma cosmologia bastante inefetiva era para aquelas pessoas, pelo contrário, perfeitamente efetiva. Eles provavelmente possuíam mais entendimento e controle sobre o mundo deles do que nós temos individualmente sobre o nosso. Poucas pessoas hoje entendem como funcionam máquinas de combustão interna, jatos, telefones, computadores, como a internet funciona, como aviões voam ou como televisões podem ser consertadas. Essas pessoas antigas não só viviam em um universo compreensivo como também sabiam como influenciá-lo e controlá-lo, o que é mais do que pode ser dito da maioria de nós hoje em dia.

As pessoas viviam em seus clãs, tribos ou povoados. Então houve guerras e lutas, migrações e fusões. Tudo isso continuou acontecendo por muito tempo. Algumas pessoas se assentaram, passando a viver de plantar e criar animais, em vez de caçar e colher. Então, na margem dos grandes rios, surgiram grandes eixos agrícolas, depois unificados como os primeiros grandes

³Harrison, Edward. *Masks of the Universe*. Cambridge University Press, second edition. Tradução livre

impérios: o chinês no Rio Amarelo, o indiano no Indo, o egípcio no Nilo, o sumério entre o Tigre e o Eufrates.

O império das pessoas correspondia, naturalmente, a um império na natureza. Citando novamente o Harrison:

Com mais conhecimento veio a crescente percepção da vastidão e da complexidade da natureza, e a compreensão de que os seres responsáveis por ativar o mundo eram muito superiores tanto aos humanos quanto aos espíritos ordinários. Passo a passo o universo mágico se tornava um universo mítico. De um lado ficavam os seres humanos, de outro lado os elevados superespíritos - verdadeiras deidades - que orquestravam os fenômenos de larga escala do mundo e possuíam habilidades nunca igualáveis por seres humanos ou espíritos.

Assim também a vida religiosa mudava: o culto individual, familiar, espontâneo aos espíritos era reprimido e substituído pelos cultos cerimoniais, dirigidos pelos sacerdotes. Para matar e caçar, não se precisava mais pedir permissão aos espíritos dos animais que seriam mortos, mas ao espírito-totem do animal, o Grande Touro, que representa todos os touros vivos. Os sacrifícios e rituais se tornaram eventos de massa, realizados regularmente para sustentar o ritmo das estações e garantir boas colheitas.

Então os humanos se sucediam uns aos outros, como se sucediam as gerações de deuses. A região entre o Tigre e o Eufrates, conhecida por nós como Mesopotâmia ou Entre-Rios (do grego *meso*, meio e *potamos*, rio), viu os sumérios serem derrubados pelos acádios, depois pelos caldeus, pelos assírios e por fim pelos babilônios. Em paralelo a isso, diversas dinastias de faraós se sucederam no Egito. Entre eles (geograficamente falando), haviam reinos comerciais mediterrâneos, em especial o de Creta.

Então, por volta de 2000 a.C., as tribos indo-européias, saindo de algum lugar das atuais planícies russas, começaram a se espalhar pelo mundo. Na península índica, estabeleceram-se como casta dominante, constituindo a tradição religiosa hindu baseada no sânscrito. No outro extremo, na Europa, estabeleceram também seus domínios. A tribo dos aqueus desceu pela península grega e destruiu um império cretense, estabelecendo em seu lugar outro império ainda mais poderoso, baseado desta vez numa cidade continental, Micenas. Na narrativa mítica, o herói Teseu derrotou o grande Minotauro, preso na cidade cretense de Minos, e assim pôde estabelecer um reino grego. Os micênicos fundaram colônias até o sul da Itália, por um lado, e até a Síria, Palestina e Chipre, para o outro.

Novas ondas de tribos indo-européias continuaram se espalhando pelo mundo antigo: os jônios se estabeleceram na Ásia Menor (atual Turquia), mas também fizeram investida na península grega (mais tarde fundariam Atenas). As agressivas tribos dóricas fizeram o mesmo, até que, em 1200 e já enfraquecido, o império micênico foi totalmente derrotado. No mundo mítico, quando os heróis da Guerra de Tróia retornam a seu país, vêem instaurado o caos; mesmo o grande general Agamenon é assassinado pelo amante de sua mulher. Segue-se então, na península grega, uma retração das cidades e fragmentação do poder político; a escrita aparentemente desaparece e inicia um período em que não sabemos praticamente nada sobre o que se passava. Assim permaneceram as coisas por mais 400 anos. Somente por volta de 900 a.C. e por influência cultural (e escrita) fenícia, as cidades gregas voltam às rotas de comércio e de conhecimento do Mediterrâneo. As diferentes partes da península retomam consciência de sua identidade cultural e linguística. Em 776 a.C. ocorrem os primeiros Jogos Olímpicos; podemos tomar essa data como o início da Grécia Arcaica. É aqui que encontraremos nossos mitos.

2.1.1 Mitos Primordiais

Os mitos eram passados por tradição oral; toda comunidade possuía seus sábios-poetas, que eram responsáveis por manterem viva a memória do mito, decorando-os cuidadosamente

e cantando-os de tempos em tempos para as pessoas (os mitos assim tinham a forma de poesia/música, em primeiro lugar porque cantos são muito ,mais mnemônicos que textos em prosa). Como a maioria das culturas antigas não sobreviveram até hoje, seus mitos foram perdidos, não sobrando mais do que registros esparsos. Isso só foi diferente nos lugares e nas épocas em que os mitos foram compilados em linguagem escrita. O registro mais antigo de linguagem escrita que temos é a escrita cuneiforme suméria, cunhada em tábuas de barro. Os egípcios possuíam seus famosos hieróglifos; os gregos arcaicos e clássicos tinham uma escrita alfabética, provavelmente herdada dos fenícios. Tudo o que sabemos sobre os mitos desses povos é o que tivemos a sorte de poder ler.

Os grandes compiladores de mitos na Grécia são do renascimento mencionado anteriormente, por volta de 700 a. C.. Dois nomes são os mais destacados: Homero escreveu a *Ilíada*, que narra a famosa disputa entre Heitor e Aquiles na Guerra de Tróia, imortalizada no Sistema Solar contemporâneo⁴, e a *Odisséia*, sequência da história, em que o herói Odisseu (ou Ulisses) faz sua longa jornada de volta à Grécia, navegando entre as ilhas jônicas. De Hesíodo, por sua vez, sobraram principalmente os poemas *Os Trabalhos e Os Dias* e a *Teogonia*. Foi nesta última obra que ele compilou cuidadosamente uma genealogia dos deuses gregos, divididos em três gerações: deuses primordiais, titãs e olímpicos. Vejamos mais de perto sua montagem.

A criação do mundo para Hesíodo acontece de maneira parecida com a dos sumérios e egípcios. No início havia o *Caos*, que pode ser traduzido como estado primordial, vazio escuro, abismo. Dele surgiram *Eros*, a força de geração e movimento; *Tartarus*, as profundezas; *Gaia*, a Terra. Da Gaia nasceu *Uranos*, o céu. Então o Céu deita-se sobre a Terra, cobrindo-a e copulando-a com a chuva. Daí nascem todas as coisas. Na mitologia egípcia, similarmente, o mundo foi criado pela união da deusa do céu, *Nut* e do deus da terra, *Geb*. Na Suméria, a união foi entre *Anu* e *Ki*.

Os deuses da primeira geração são entes muito abstratos, confundidos com as próprias entidades que eles representam. Muitos deles nada mais são do que os antigos deuses da natureza, os que foram fortes o suficiente para sobreviver. Assim, conta Hesíodo que Gaia, sozinha, deu a luz aos *Ourea* (em latim *Montanus*), que são os espíritos de cada montanha conhecida, bem como às *Nesoi*, as entidades de cada ilha. Do Caos surgiram ainda *Nyx*, a noite, e *Erebus*, a escuridão que preenche todos os cantos do universo e os vazios na Terra. Do casamento entre esses dois irmãos, nasceram *Éter*, o ar supremo, céu azul, luz; e *Hemera*, o dia claro, que espalha as sombras de *Nyx*.

A segunda geração é a dos Titãs, filhos principalmente de Uranos e Gaia. Eles representam basicamente as grandes forças da natureza. Hesíodo conta que o Céu e a Terra tiveram como filhos seis Titãs, masculinos, e seis Titânidas, femininos. O último dos filhos, que viria a reinar, foi *Cronos*, o fluxo do tempo e das eras. Sua esposa era uma de suas irmãs, *Rhea*, a nova deusa-mãe (que, provavelmente, substituiu o antigo culto à Terra). Como esposa de Cronos, Rhea era responsável pelo fluxo do tempo; como deusa-mãe, estava associada ao fluxo menstrual, ao leite, ao nascente; era responsável pela geração e pela fertilidade.

Outros Titãs representavam outros grandes entes, como *Koios* (latim *Coeus*), o eixo do mundo, associado ao Norte, ou *Okeanos*, o grande rio que rodeia a Terra, regulando nascente e poente, representado como uma Serpente com chifres de Touro. Ou então eram entes mais abstratos, como *Mnemosina*, responsável pela memória e pelas palavras orais, ou *Temis*, a ordem, lei divina, costume e, em alguns oráculos, a voz oracular da Terra.

Dois titãs de especial interesse astronômico são *Hyperion*, a luz, Sol, o pilar leste do mundo, e

⁴Os ASTERÓIDES TROIANOS são dois grupos de astróides que ocupam a órbita de Júpiter, 60 graus à frente e atrás do grande planeta. Os asteróides à frente recebem nomes de soldados gregos da Guerra, enquanto os asteróides do grupo de trás recebem nomes dos soldados troianos (as exceções são Heitor, troiano que está no lado grego, e Patroclo, grego que está no lado troiano). Para saber como esses asteróides funcionam dinamicamente e gravitacionalmente, ver Volume 3

sua esposa-irmã, *Thea*, a visão, profecia, o brilho dos metais e pedras. Juntos, tiveram três filhos: *Helios*, o Sol; *Selene*, a Lua; *Eos*, a Aurora. Eos se casou com *Astræus*, o Crepúsculo, dando origem a:

- os quatro *Anemoi*, ou ventos: *Boreas* (norte; frio e invernal), *Notos* (sul; chuvas de verão), *Zéfiro* (oeste; brisa de primavera), *Euros* (leste; calor e chuva).
- os seis *Astra Planeta*, ou estrelas errantes: *Phainon*, o brilhante (Saturno); *Phaeton*, o flamejante (Júpiter); *Pyroëis*, o ardente em fogo (Marte); *Eosforos*, que traz a aurora (Vênus matutino); *Hesperos*, que traz o crepúsculo (Vênus vespertino); *Stilbon*, Mercúrio.

A terceira geração, filha da segunda, aparece por meio de uma guerra, a famosa *Titanomaquia*, ou Guerra dos Titãs. Lutas entre diferentes raças ou gerações de deuses aparecem em diversas outras mitologias, como na famosa luta nórdica entre os *Æsir* e os *Vanir*, ou como derivou dos sumérios para o texto bíblico, a revolta de Lúcifer contra o poder de Javé. No caso grego, a briga tem uma história engraçada.

Tudo começa no fim da primeira dinastia. Cronos, o fluxo do tempo, destronou Urano, o céu, da regência sobre o mundo. A história, como contada por Hesíodo, tem feições bastante humanas: Gaia, querendo vingar-se por Urano ter aprisionado seus outros filhos⁵ no Tártaro, esculpe uma foice de pedra e reúne os titãs para que o castrem. Só Cronos se dispõe a realizar tal feito. Como combinado, Cronos se esconde no útero da Terra e, quando, Urano vem ter com ela, aquele salta com a foice e o castra, jogando seus testículos no mar. Do seu sangue jorrado no mar, nascem as *Eríneas* (latim Furias), entidades terrestres da vingança; as ninfas *Meliades*, que deram origem aos humanos da Era de Bronze, e a raça dos Gigantes. Além do sangue, entretanto, aparece no mar uma espuma branca produzida a partir dos testículos, de onde nasce *Afrodite*, deusa do amor, da beleza e da sexualidade.

Então Cronos e sua irmã Rhea assumem o reinado do mundo, no período conhecido como Era de Ouro: em que não eram necessárias leis para se governar e a imoralidade era totalmente ausente. Apesar disso, Cronos mesmo era visto como um deus cruel e intempestuoso. Ainda em referência à castração de Urano, com medo de que alguém tomasse seu lugar, o rei titã devorava todos os filhos que tinha com Rhea. É como dizem: o tempo devora a todos os seus filhos. Rhea, a deusa-mãe, ficava insatisfeita com todas as suas criações sendo devoradas. Então ela fez um truque com seu último filho, Zeus: quando Cronos foi engolir o novo filho, acabou engolindo uma pedra, sem notar a diferença. Então Zeus foi mantido escondido em uma caverna em Creta (provavelmente por referência ao antigo Reino de Minos). Quando adulto, partiu então para sua grande missão, prevista pelos oráculos: derrotar seu pai. Primeiro Zeus usou uma poção, dada a ele por sua avó Terra, que fez com que Cronos regurgitasse a pedra e todos os filhos devorados: seus irmãos *Hades* e *Poseidon*, e as irmãs *Demeter*, *Hera* e *Hestia*. Depois disso, o filho rebelde liberou as criaturas do Tártaro, iniciando a grande batalha contra os titãs. Com a ajuda dos Gigantes, Zeus e seus irmãos vencem os titãs, aprisionando a maioria deles no Tártaro. Então inicia-se a terceira geração, o reino de ordem de Zeus, a partir do Monte Olimpo.

O mundo é então dividido entre os três irmãos homens: Zeus reinaria sobre o ar e os céus; Poseidon sobre as águas⁶; Hades sobre o submundo. Sobre a Terra, Gaia, ninguém poderia reinar sozinho; a terra é poderosa demais. Sobre esta, os três tinham igual domínio.

⁵Trata-se dos filhos “deformados” de Urano e Gaia, que nasceram antes dos titãs: os *Ciclopes*, gigantes fortes, de emoções abruptas e tendo apenas um grande olho, e os *Hecatonquiros* (latim *Centimani*), gigantes de cem braços que representam a força dos fenômenos naturais.

⁶Há uma longa e meio separada tradição de deuses relacionados à água; ela é separada provavelmente porque os cultos aquáticos dos pescadores e comerciantes tinha pouca relação com os cultos ctônicos às forças da terra que, diante do sucesso da agricultura, acabou se configurando como a versão principal da mitologia. Eis um rápido resumo: *Pontos*, as profundezas do mar, nasceu de Gaia do mesmo modo que Ouranos. E do mesmo modo também copulou com Gaia, tendo diversos filhos. O principal dele talvez tenha sido o primogênito do Mar com a Terra, *Nereu*, o velho do Mar Egeu. Ele foi bastante cultuado entre pescadores. Nas gerações seguintes, seu culto foi substituído pelo de Poseidon, e depois

No Monte Olimpo, Zeus estabelece os tronos de seu reinado. A narrativa de Hesíodo cria um reflexo entre a segunda e terceira gerações: eram seis titãs e seis titânidas; agora são seis olímpicos e seis olímpicas. A idéia é que cada deus antigo foi substituído por alguém da nova geração. Na versão clássica (e, entre parênteses, na versão romana), os doze deuses olímpicos eram: Zeus (Jupiter); quatro de seus irmãos: Poseidon (Netuno), que reinava sobre as águas; as irmãs Hera (Juno), sua esposa; Demeter (Ceres), deusa da fertilidade e da colheita, substituindo Rhea no culto à mãe-terra; Afrodite (Venus), do amor e da beleza; sete de seus filhos: Atena (Minerva), da civilização e sabedoria; Apolo (Apolo mesmo), do Sol, da luz, da poesia e do conhecimento; Ártemis (Diana), irmã-gêmea de Apolo, deusa da Lua, da caça, das florestas e vales; Dionísio (Baco), do vinho e da explosão dos instintos; Ares (Marte), da guerra; Hefestus (Vulcano), do fogo, do metal e da tecnologia; e Hermes (Mercúrio), do comércio e das viagens, mensageiro dos deuses e guia ao submundo. Nesta versão clássica do panteão, Hades (Pluto) aparece de fora, por reinar sobre uma parte diferente do mundo (mais relacionada à morte do que à vida humana). Hestia (Vesta), uma das irmãs engolidas e deusa do coração e dos assuntos domésticos, também não aparece. Uma história diz que Dionísio a ofereceu um assento, mas ela recusou, temendo que o desequilíbrio entre o número de deuses e deusas causasse conflitos.

A geração olímpica, entretanto, já é bem mais afastada dos cultos às forças da natureza, e relacionada a cultos de atributos e atividades humanas. Além disso, todos os deuses são representados como seres humanos, nenhum como animal ou forma abstrata. Além disso, as histórias deles contam que eles possuíam raiva, inveja, ciúmes, alegria, gozo, amor, como qualquer outro ser humano. A metáfora está bem menos presente na natureza e mais na criação dos homens. São os olímpicos que possuem e manipulam os homens nos textos de Homero, e depois nos textos posteriores. Novos deuses para novos tempos.

2.1.2 Mitos Heróicos

Os deuses, propriamente, não viraram constelações. Eles eram grandes demais para serem representados por uma figura no céu. Em vez disso, as constelações representavam personagens ou episódios dos mitos, da trama cósmica que tinha levado à existência do mundo antigo, tal como ele era.

Podemos começar do Pólo Norte, em torno do qual se desenrola a história de Perseu, o fundador mítico do Reino de Micenas, o primeiro reino indo-europeu na Grécia. Perseu era um semi-deus, filho do próprio Zeus com Danaë, o arquétipo dos Danaan, os gregos Aqueus. Sua mãe, por sua vez, era filha do lendário Acrisius, rei de Argos, sobre o qual falaremos depois. Expulso de Argos com sua mãe, Perseu passou muito tempo flutuando no mar, até ser encontrado por Dictus (nome da rede do pescador) e acolhido por Polidecto (cujo nome significa “aquele que recebe muitos”). Este criou o herói até a idade adulta. Então, em um episódio relacionado a uma festa, presentes e pessoas se insinuando para Danaë, Perseu envolveu-se em uma aventura que o obrigava a fazer uma longa jornada ao submundo, para trazer a cabeça da Medusa, a única górgona mortal⁷. É muito comum nas mitologias a idéia de que todo herói, na sua juventude, precisa fazer uma jornada ao submundo, à obscuridão, para de lá ressurgir, de posse da sabedoria e do poder. Funciona mais ou menos como os *insights* depois de muito esforço, ou como a crise e o climax das narrativas literárias modernas. Para citar apenas um exemplo não-grego, podemos falar do episódio bíblico da ida de Jesus ao deserto, onde ele é sumamente tentado e de onde ele volta purificado. Podemos falar também da sua descida aos infernos, depois da crucificação, de

pelo de seu filho Tritão (famoso pelo tridente). Nereus casou-se com *Doris*, uma ninfa oceânida, e com ela gerou as 50 ninfas nereidas; dentre elas, podemos destacar *Têmis*, mãe de Aquiles, e *Anfitrite*, a nereida que casou-se com Poseidon.

⁷ As três górgonas (bruxas-serpentes que transforma em pedra quem as olha) e as três gréias (bruxas que compartilham, as três, um só olho e um só dente, e por isso conhecem o futuro) são filhas de *Forkys*, os perigos do mar, com *Cetus*, os monstros do mar.

onde ele emerge com a chave do mundo dos mortos.

Mas o importante é que Perseu teve sua própria jornada. Guiado por Atena até as Gréias, ele rouba delas o único olho, devolvendo-o apenas depois de elas ensinarem o caminho até as ninfas Hespérides. Lá ele consegue as armas de que precisa: uma espada do lendário *adamantium* forjada por Zeus, um forte escudo de Atena, uma capa de invisibilidade de Hades, sandálias voadoras de Hermes e, por fim, um saco forte das ninfas, para carregar a cabeça. Em versões posteriores do mito, as sandálias voadoras foram substituídas pelo cavalo alado *Pegasus*, que já existia em outros mitos. Assim, Perseu entra na caverna das górgonas enquanto elas dormem; aproxima-se de Medusa, invisível, vendo-a apenas pelo reflexo de seu escudo; então corta sua cabeça e a põe no saco.

Voltando de sua jornada ao submundo, Perseu passa pelo reino da Etiópia (que, nessa história específica, provavelmente se refere a um reino na Fenícia) onde se envolve em outra aventura. O reino mítico da Etiópia era governado pelo rei *Cefeu* e pela rainha *Cassiopéia* e afundava graças à prepotência humana. A rainha Cassiopéia comparava sua beleza à das ninfas nereidas; isso provocou a ira de Poseidon, que fez inundar a cidade e enviou Ceto, o arquétipo dos monstros marinhos, para destruir a cidade. Poseidon então alertou Cefeu que só pararia a destruição quando, para pagar pelos seus erros, o rei oferecesse em sacrifício ao monstro sua própria filha, *Andrômeda* (cujo nome, *andros medomai*, significa “rainha dos homens”). Relutante, ele amarrou a filha, com correntes, a uma rocha. Foi então que Perseu entrou na história, voando com suas sandálias aerodinâmicas e usando a cabeça da Medusa para derrotar Cetus.

Depois disso, Perseus casa-se com Andrômeda na Fenícia. Sua jornada está então completa. Ele e a esposa voltam voando para Argos, onde o herói destrona seu avô Acrisius e estabelece o reino micênico. Então é estabelecida a dinastia perseida em Tirito e em Argos. Entre os filhos do herói com sua esposa, figura *Perses*, que foi deixado na Fenícia e depois se tornou o ancestral dos imperadores persas. Outro descendente ilustre é o também semi-deus Hércules (Hércules), sobre o qual ainda falaremos.

O mito fundador de Perseu e do Reino Micênico está inteiro desenhado no céu. Fica mais fácil se olharmos o céu da latitude da Grécia, cerca de 40 deg N, por volta do mês de junho (você pode fazer isso com o Stellarium!) Nele vemos o rei Cefeu sentado um pouco acima do Pólo Norte; a seu lado direito, a rainha Cassiopéia. A princesa Andrômeda aparece ainda ao lado, amarrada nas suas correntes e de frente para o monstro Cetus, que vem do oeste. Mas a noroeste está nascendo Perseu, carregando em suas mãos a cabeça da Medusa, cujos olhos são representados pelas estrelas Algol e ρ Persei. Acima dele, voando, o cavalo Pegasus.

Outras histórias fundadoras da Grécia aparecem no céu. Uma delas é a dos Argonautas, nos anos anteriores à Guerra de Tróia, em sua jornada até o reino de Colchis (atual Geórgia, a oeste do Mar Negro) em busca da lã dourada. O nome “argonauta” significa, literalmente, navegante de Argus, o nome do famoso navio em que navegavam. O bando dos argonautas era liderado por Jasão, marido de Medéia, mas contava com vários outros heróis de peso, como Heracles e os gêmeos Castor e Pollux. Curiosamente, os três são representados como constelações no céu, mas Jasão não é. Entretanto, o navio deu origem à constelação de *Argo Navis*, próxima ao Pólo Sul (e não visível da Grécia, apesar de ter recebido seu nome no mundo antigo).

Já dissemos, mas não custa dizer de novo: nenhum desses mitos e desses arranjos de constelações são exclusivamente gregos; todos eles têm elementos herdados de outras culturas, seja dos Mesopotâmicos, dos Egípcios ou dos Persas. Por exemplo, as constelações dos heróis Hércules e Órion, opostas no céu, correspondem, respectivamente, às constelações de *Marduk* e *Gilgamesh*, dois heróis e antagonistas sumérios⁸. Ainda na mesma história suméria aparece *Enkiru*, uma

⁸A *Epopéia de Gilgamesh* é um texto bastante famoso, descoberto há poucas décadas. Trata-se de um texto que conta a criação do mundo e alguns episódios mitológicos de forma incrivelmente similar aos textos do Gênesis bíblicos, só que com figuras mitológicas sumérias. A interpretação predominante é que se trata de um texto mais antigo, cuja história,

constelação da Eclíptica, cuja versão helenizada é o centauro Quíron (o sagitário).

2.1.3 Constelações Clássicas

Nosso conhecimento das constelações gregas clássicas, bem como nosso conhecimento de quase tudo que era grego, vem da famosa *Biblioteca de Alexandria*, que ficava na cidade egípcia de Alexandria, na foz do Nilo, nos domínios do Império de Alexandre. Alexandre era macedônio, ou seja, de um povo de cultura helênica no norte da Grécia. Seu império engoliu toda a península grega, os bálcãs, o Egito, a Ásia Menor (atual Turquia), a Mesopotâmia, Pérsia e até a fronteira com a Península Índica! Partes do mundo com tradições culturais muito distintas, mas sob um mesmo domínio político. As migrações dentro do império eram muito incentivadas, e com isso o intercâmbio cultural e intelectual era inevitável. O próprio Imperador mudava sua residência de cidade de tempos em tempos, dirigindo o Império sempre de partes diferentes. Um dos grandes centros intelectuais era a cidade de Alexandria e sua Biblioteca.

A idéia de biblioteca é uma idéia muito interessante. Você viaja por aí, compra exemplares de todos os livros que você encontrar, de todos os assuntos que te interessarem, e depois os reúne todos em um mesmo prédio. Esse prédio funciona como um enorme reservatório de conhecimento compilado; qualquer um que passe muito tempo ali trará contato com uma grande diversidade dentre as melhores idéias formuladas por diversas gerações de intelectuais dedicados e filósofos sábios. Assim, a biblioteca é uma forma primordial de máquina de produzir conhecimento.

Assim foi em Alexandria. Os clássicos gregos foram todos preservados, copiados e comentados. As idéias filosóficas gregas encontraram a sabedoria dos antigos escribas egípcios, mas também as tabelas e concepções babilônicas, persas e indianas. O conhecimento em geral floresceu com grande velocidade e grande diversidade; com o conhecimento astronômico não foi diferente. Já vimos inclusive, na seção 1.2, um personagem que foi diretor da Biblioteca: Eratóstenes de Cirene (cidade no norte da África, atual Líbia), o que mediu a esfericidade da Terra.

Outro grande nome astronômico do centro foi *Hiparco de Nicéia*. Infelizmente, toda a sua obra foi devorada por Cronos e não chegou até nós. Tudo o que temos sobre ele são relatos contidos na obra de outro importante astrônomo alexandrino: *Claudio Ptolomeu*. De acordo com esses relatos, Hiparco teria construído um observatório na Ilha de Rodas, de onde monitorou o céu por mais de três décadas. Desta forma, compilou o catálogo de estrelas mais preciso e completo da Antiguidade, com a posição e a magnitude (variando entre 1 e 6) de todas as estrelas. Através do movimento anual da Terra, deduziu a posição dos pólos celestes. Comparando suas observações com tabelas antigas, identificou o fenômeno chamado de **PRECESSÃO DOS EQUINÓCIOS**! Além disso, encontrou a proporção entre tamanhos das sombras da Terra e da Lua durante eclipses, e fez a estimativa mais precisa da duração do ano solar feita até então.

Foi a partir do trabalho de Hiparco, e das extensas tabelas babilônicas acumuladas por séculos, que *Ptolomeu* escreveu seu grande tratado astronômico: *He Megale Syntaxis* (O Grande Tratado), no nome grego original; *Al-kitabu-i-mijisti* na tradução árabe; *Almagestum* na versão latinizada da tradução árabe; *Almagesto* como é conhecido em português. São treze volumes, com tabelas de observações de estrelas e planetas (as babilônicas e as de Hiparco, organizadas de maneira interessante para ele) e com um grande modelo geométrico do Universo, baseado na cosmologia aristotélica.

É no trabalho de Ptolomeu, citando o trabalho de Hiparco, que aparecem as 48 constelações que ficaram conhecidas como as **CONSTELAÇÕES CLÁSSICAS**. Todas elas, menos uma, ainda são parte da lista atual de constelações oficiais. As 48 constelações de Ptolomeu (escritas em nomes

conhecida por Abraão e sua família, acabou sendo incorporada à cosmologia hebraica que foi criada depois.

latinos) são:

7 heróis mitológicos: PERSEUS, CEFÉUS, CASSIOPEA, ANDROMEDA, HERCULES, ORION, GEMINI;

7 criaturas mitológicas: CETUS, PEGASUS, HYDRA, DRACO, CAPRICORNUS, e os dois Centauros (CENTAURUS e SAGITTARIUS)

19 animais:

13 terrestres: LEO (Leão), LEPUS (Coelho), LUPUS (Lobo), TAURUS (Touro), ARIES (Carneiro), EQUULEUS (Petro ou Cavalinho), SERPENS (Serpente), CANCER (Caranguejo), SCORPIUS (Escorpião), Ursa MAJOR e MINOR, CANIS MAJOR e MINOR;

3 aquáticos: PISCES (Peixes), PISCIS AUSTRINUS (Peixe Austral) e DELPHINUS (Golfinho)

3 aéreos: AQUILA (Águia), CYGNUS (Cisne) e CORVUS (Corvo);

5 pessoas genéricas: AURIGA ("Carruageiro"), BOÖTES (Boiadeiro), OPHIUCHUS (Serpentário), AQUARIUS (Aquário), VIRGO (Virgem);

7 objetos: LYRA (Harpa), SAGITTA (flecha), CRATER (Taça), ARA (Altar), LIBRA (Balança), CORONA BOREALIS e AUSTRALIS;

o ARGO NAVIS;

o rio ERIDANUS;

um TRIÂNGULO?!

Eratóstenes, ainda, adicionou uma 49ª constelação, a Cabeleira de Berenice (COMA BERENICES, em latim). Sua lenda conta que a jovem princesa egípcia Berenice, filha de Ptolomeu Filadelfo, casou-se com Ptolomeu Evergeta. Na mesma época, o rei sírio Seleuco II invadiu uma província egípcia, com intenções de dominar todo o Egito. Assim, o marido de Berenice foi enviado para a guerra; desesperada, ela foi ao templo de Isis e, como promessa para que o marido voltasse a salvo, cortaria seu belo cabelo e depositaria no templo da deusa egípcia. Ptolomeu Evergeta voltou a salvo da guerra, vitorioso, e Berenice, como prometera, cortou os cabelos e os depositou no templo. Porém, na noite seguinte a cabeleira havia sido roubada e seu marido estava enfurecido. Para acalmá-lo, um sábio astrônomo da corte egípcia, Cónon, levou o príncipe em fúria para o observatório no alto de uma pirâmide, explicando-lhe que a deusa levou a cabeleira para o céu em sinal de agradecimento. Um mito não muito grego, mas que, de uma maneira um tanto quanto curiosa, acabou sendo incorporado.

Quanto à biblioteca, sua grandeza foi também sua ruína; por ser um centro tão proeminente de intelectuais, era também um alvo fácil em guerras e disputas políticas. Nos tempos dos sucessores de Alexandre, outro grande império despontava a oeste. Não muitos anos mais tarde, aquelas terras egípcias já pertenciam ao romano. Por disputas dentro do Império Romano, e ainda depois com seu colapso, a Biblioteca de Alexandria foi incendiada por algumas vezes. Como os textos de Hiparco, muitas obras da antiguidade, das quais só temos notícias indiretas, foram perdidas definitivamente.

2.2 Os Modernos

Enquanto o céu do hemisfério norte é repleto de figuras mitológicas, o sul exibe figuras de instrumentos, tanto científicos como de navegação: sextante, oitante, bússola, telescópio, microscópio, máquina pneumática. Há ainda constelações de animais exóticos: Pavão, Tucano, Ave do Paraíso. Nenhuma delas carrega lendas. A marcante diferença vem do fato de o céu austral ter sido, na cultura europeia, mapeado na era das Grandes Navegações. O céu, então, possuía um papel bastante diferente.

As referências religiosas e míticas não tinham mais espaço no mundo europeu desta época. Já em Roma, os deuses (herdados dos gregos) perderam espaço para seitas religiosas orientais, que pregavam uma relação muito diferente com o divino. Em 312, o imperador romano Constantino foi batizado em uma dessas religiões: o cristianismo. Tratava-se de uma seita de origem palestina, que pregava que um ser divino, o messias, havia vivido entre homens na Terra, e depois morrido martiricamente para salvar os homens. Com uma mistura de judaísmo, maniqueísmo e outras tradições místicas, essa religião acabaria tendo bastante apelo. Logo o cristianismo se tornou a religião predominante em Roma, e então religião oficial do Império. Cem anos depois, Roma caiu pelas mãos dos bárbaros, mas o mesmo não aconteceu com sua contagiante religião: o cristianismo se modificou, se fundiu com as tradições bárbaras e, assim, converteu-se também nas religiões deles. Para os cristãos, não existem os deuses ligados à natureza; em vez disso, há um único Deus, que não se confunde com a natureza, mas está acima dela. Assim, vai perdendo o sentido o antigo universo dos mitos e dos deuses responsáveis por diferentes aspectos da natureza e do céu.

Da cristianização de Roma, podemos saltar para a época das Grandes Navegações. Até então, as constelações conhecidas eram as constelações que podiam ser vistas da Europa e do Mundo Antigo. Mas os navegadores que desceram a África e as Américas depararam-se com constelações bastante diferentes. Eram todos cristãos, que acreditavam na esfericidade da Terra e na esfericidade do Céu. As estrelas, para eles, não possuíam nenhum significado religioso ou mítico especial; contudo, continuavam fundamentais no mesmo sentido técnico que para os astrônomos: permitir a orientação e a localização. Para isso, um conhecimento sistemático do céu era bastante importante. Assim, as primeiras iniciativas de fazer o mapeamento completo da Esfera Celeste vieram não muito depois das Navegações.

Uma dessas tentativas, frustrada, foi a de Julius Schiller, jurista de Augsburg, cidade livre do Sacro Império Romano Germânico. Ele fez uma nova roupagem para as constelações, tanto austrais quanto boreais, em seu trabalho *Coelum Stellatum Christianum*, publicado em 1627. Contrário às referências pagãs das constelações clássicas, ele mapeou todo o céu somente com figuras da Bíblia. No céu boreal ele pôs figuras do novo testamento e, no céu austral, figuras do velho testamento. Na faixa zodiacal, ele substituiu as 12 constelações da eclíptica por imagens dos 12 apóstolos de Cristo. Dessa forma, o Touro virou SANTO ANDRÉ, e o Carneiro virou SÃO PEDRO. Claro, muitos formatos foram aproveitados; o Argo Navis, por exemplo, foi transformado na ARCA DE NOÉ.

Como as de Schiller, muitas constelações foram criadas por astrônomos nesta época; como as de Schiller, muitas constelações foram solenemente desconsideradas. Exemplos de constelações obsoletas não faltam para ilustrar esse fato; uma razoavelmente ridícula é a constelação da GLÓRIA DE FREDERICO, criada pelo astrônomo germânico Johann Elert Bode (famoso pela Lei de Titus-Bode⁹). A constelação foi criada em homenagem a Frederico, o Grande, Rei da Prússia, quando ele morreu em 1787. Ela se localiza entre Cefeu, Andrômeda, Cassiopéia e o Cisne. Mais informações sobre constelações obsoletas podem ser obtidas neste site¹⁰

⁹Para mais informações a respeito, veja Volume II.

¹⁰http://www.pa.msu.edu/people/horvatin/Astronomy_Facts/obsolete_constellations.htm

2.2.1 Plancius e Bayer

Entre os astrônomos bem-sucedidos no batismo constelacional, o primeiro nome é o de Petrus Plancius (forma latinizada de *Pieter Platevoet*), cartógrafo e astrônomo holandês. Sua primeira contribuição aparece em um globo celeste desenhado em 1589; nele foram desenhadas, pela primeira vez, a partir das esparsas informações obtidas sobre o hemisfério sul, a *Crux*, o TRIANGULUM AUSTRALE e as *Nubecula Major* e *Minor*, depois conhecidas como Grande e Pequena Nuvens de Magalhães¹¹. Depois disso, Plancius treinou um navegador, Pieter Keyser, para fazer observações de estrelas austrais. Keyser partiu em 95, na primeira viagem holandesa para as Índias Orientais; ele morreu na viagem, mas seu catálogo de 135 estrelas austrais chegou a Plancius. Não podemos esquecer que estamos na época do dinamarquês *Tycho Brahe*, que fez observações do céu mais precisas que quaisquer outras anteriores. Para as estrelas visíveis da Europa, seus dados eram naturalmente usados nos catálogos e globos; para as do sul, entretanto, dependia-se dos navegadores.

Plancius dividiu as 135 estrelas de Keyser em 12 novas constelações, referindo-se aos animais exóticos cujos desenhos e relatos circulavam nos livros de história natural e nos relatos de viajantes daquele tempo. As constelações eram: APIS (Abelha), APUS (Ave do Paraíso), CHAMAELEON (Camaleão), DOURADO (Dourado ou Delfim), GRUS (Grou), HYDRUS (pequena serpente aquática), INDUS (o indiano), PAVO (Pavão), PHOENIX (Fênix), TRIANGULUM AUSTRALE (Triângulo Austral?!), TUCANA (Tucano) e VOLANS (Peixe-Voador). Essas 12 constelações apareceram em um globo de 98, junto com COLUMBA (Pomba), um desmembramento do Cão Maior introduzido por Plancius em 92.

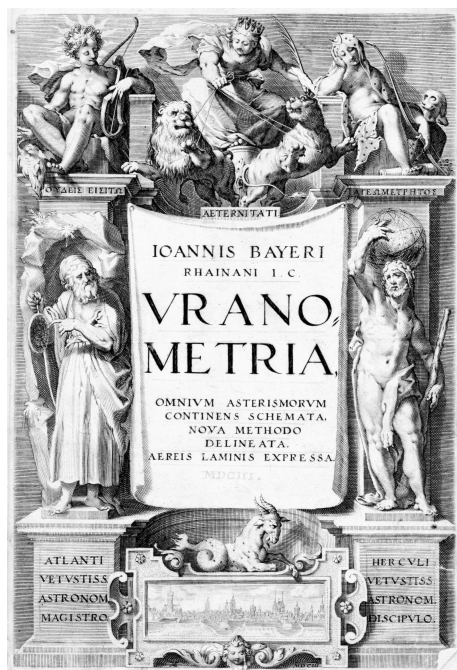


Figura 2.1: A capa de *Uranometria* possui algumas referências mitológicas interessantes. Do lado esquerdo vemos Atlas, e a inscrição “Atlas, o primeiro mestre de astronomia”; do lado direito, vemos Hércules e a inscrição “Hércules, o primeiro discípulo de astronomia”. No topo vemos Apolo de um lado, representando o Sol, e sua irmã Diana de outro, personificando a Lua. No topo vemos Apolo de um lado, representando o Sol, e sua irmã Diana de outro, personificando a Lua. No centro está Cibele, deusa da Terra, com uma coroa de estrelas (Coroa Boreal?) e guiada por dois leões. Embaixo do título, a figura de Áries e um desenho da cidade de Augsburgo. Fonte: Wikipedia.

¹¹Fernão de Magalhães foi um navegador português que ficou famoso por ser o primeiro a dar a volta na Terra.

As novas constelações de Plancius, por serem a primeira cobertura completa do novo céu, acabaram colando. Ajudou muito, também, elas terem sido usadas no grande e famoso tratado do alemão Johann Bayer, de 1603, chamado *Uranometria: omnium asterismorum continens schemata, nova methodo delineata, aereis laminis expressa*. O título já é interessante pelo novo conceito que traz: da mesma forma que a geometria é o ato de medir a terra, a uranometria trata de medir os céus. Além disso, o subtítulo também é interessante; traduzido, fica “todos os asterismos contidos em mapas, por novo método delineados, em placas de cobre gravados”. De fato, as cartas celestes do livro eram placas de cobre, nas quais haviam delineadas grades que permitiam marcar a posição das estrelas com precisão de frações do grau. As posições foram retiradas do catálogo de 1005 estrelas de Tycho Brahe, que foram bem mais tarde publicados em forma de tabela, por Kepler, com o nome de *Tábuas Rudolfinas*.

O atlas de Bayer tinha 51 cartas celestes. As 48 primeiras representavam as 48 constelações clássicas, desenhadas com a precisão de Tycho Brahe. A Carta 49 continha um desenho, menos preciso, das 12 novas constelações do hemisfério sul. As Cartas 50 e 51 eram *Synopsis coeli superioris borea* e *Synopsis coeli inferioris austrina*, mapas gerais do hemisfério boreal e do hemisfério austral, respectivamente. Mas repare que era a primeira vez que aquilo podia ser feito; a primeira vez que um livro pôde publicar mapas cobrindo o céu inteiro! Foi nesse trabalho que Julius Schiller, amigo de Bayer, se inspirou para sua obra das constelações bíblicas.

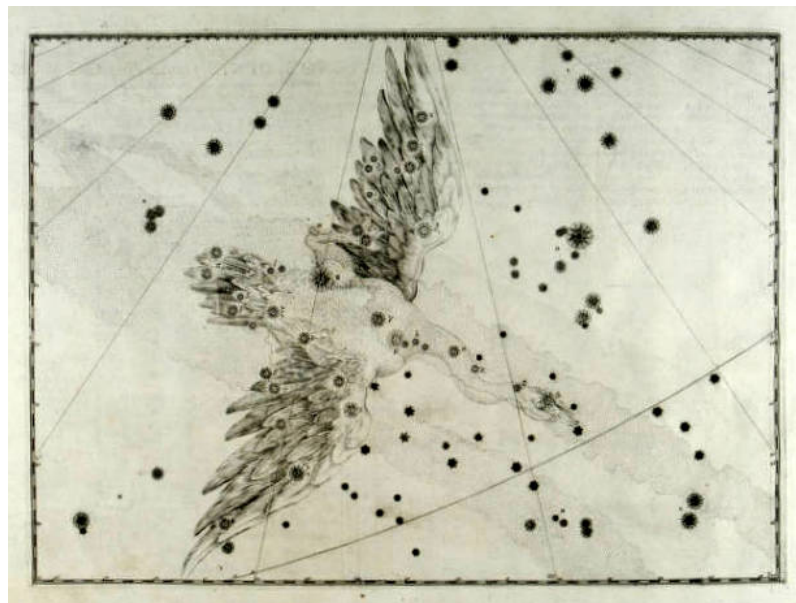


Figura 2.2: Carta 9: Cygnus, da *Uranometria* de Johann Bayer. Fonte: Linda Hall Library of Science, Engineering and Technology. http://lhldigital.lindahall.org/cdm4/document.php?CISOROOT=/astro_atlas&CISOPTR=118&REC=10

Mas além de cobrir o céu todo, o tratado de Bayer ficou famoso por outro aspecto: foi também o primeiro a usar o mesmo padrão sistemático para nomear estrelas de todas as constelações – o padrão que ainda usamos hoje. A idéia é a seguinte: dentro de cada constelação, as estrelas são nomeadas pelas letras do alfabeto grego, em ordem de importância, brilho, ou seguindo algum padrão interno que salte aos olhos. Assim, a estrela mais importante de Cygnus é α Cygni; a segunda, β Cygni, e assim por diante. Grosso modo, isso segue uma escala de magnitudes das estrelas - razão pela qual alguns acreditam que esse era o critério principal de Bayer. Mas em diversos outros casos o critério usado não corresponde à escala de brilho, mesmo porque comparar brilhos de estrelas com muita precisão não era nada fácil, sem falar nas estrelas com

brilho variável. Betelgeuse, do Órion, é variável, e na maior parte do tempo é menos brilhante que Rigel. Mas ela é α *Orionis* porque claramente se destaca na constelação, sendo uma estrela muito vermelha numa constelação formada toda por estrelas azuis¹². Outro exemplo é a Ursa Maior: suas estrelas foram nomeadas seguindo o desenho da *Big Dipper* ou *La Casserola*. Ainda em constelações que só possuíam estrelas fracas e nenhum padrão proeminente, Bayer usou o critério de passagem pelo meridiano local (com a alfa sendo a primeira estrela a cruzar o meridiano, etc.).

Dez anos depois do tratado de Bayer, em um novo globo, Petrus Plancius introduziu ainda oito novas constelações: CAMELOPARDALIS (Girafa), CANCER MINOR (Pequeno Caranguejo), GALLUS (Galo), MONOCEROS (Unicórnio), SAGITTA AUSTRALIS (Flecha do Sul) e mais três rios: EUPHRATES FLUVIUS, TIGRIS FLUVIUS e JORDANIS FLUVIUS. Com exceção de Monoceros e Camelopardalis, todas as outras foram rigorosamente esquecidas. Não se pode ganhar todos os dias.



Figura 2.3: Carta 49: Novas constelações do hemisfério sul (Pavo, Tucana, Grus, Phoenix, Dorado, Piscis Volans, Hydrus, Chameleon, Apis, Apis Indica, Triangulum Australe), da *Uranometria* de Johann Bayer. Fonte: Wikipedia: http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Bayer-1661-Uranometria-Leaf_49-Southern_Constellations.jpeg

¹²Créditos a Brian Tung pelo exemplo, no artigo <http://astro.isi.edu/games/mars.html>

2.2.2 Hevelius e Lacaille

Depois de Plancius e Bayer, dois outros astrônomos ainda contribuíram com as constelações que conhecemos hoje. O primeiro deles foi Johannes Hevelius (latinização de *Jan Heweliusz*). De outra geração, Hevelius publicou seus trabalhos depois de Galileu e Kepler, mas antes de Newton. Em 1641, equipou uma casa com alguns instrumentos interessantes; entre eles, um telescópio kepleriano de 45 m. Apesar disso, Hevelius é considerado o último astrônomo a fazer grandes trabalhos sem telescópio, dando grandes contribuições a diversas áreas da astronomia.

Em 1647, Hevelius publicou sua *Selenographia*, que é outro nome inspirador: trata-se de mapas que grafam a Lua, da mesma maneira que a Geografia faz mapas da Terra. Em 62, publica sua *Historiola Mirae*, em que estuda uma estrela variável, Ceti. Em seu livro, a estrela é chamada por ele de Mira, da expressão *la merveilleuse*, a maravilhosa. Além disso, descobriu quatro cometas: em 1652, 61, 72 e 77. Suas descobertas o levaram a supor a tese de que tais corpos giravam em torno do Sol em caminhos parabólicos. Publica esses trabalhos em 68, na sua *Cometographia*. No ano seguinte, Hevelius recebe a visita de um jovem inglês, emissário da Royal Society, especialmente interessado nos seus trabalhos a esse respeito. Seu nome: Edmund Halley.

Em 1690, Hevelius publicou dois trabalhos sobre Uranografia: *Prodromus Astronomiae*, um catálogo com 1564 estrelas (!), e *Firmamentum Sobiescianum*, em que Hevelius traça sete novas constelações, espalhadas pelo céu: CANES VENATICI (Cães de Caça), LACERTA (Lagartixa), LYNX (Lince), LEO MINOR (Leão Menor), VULPECULA (Raposa), SEXTANS (Sextante) e SCUTUM (Escudo). Essa última foi uma homenagem ao rei polonês Jan III Sobieski em sua vitória sobre os otomanos na Batalha de Viena, em 1683. Apesar disso, o nome acabou pegando. Além dessas sete, seus mapas tinham outras três constelações agora obsoletas: CERBERUS (sim, o cão de três cabeças), MONS MAELANUS (um monte grego) e TRIANGULUM MINOR.

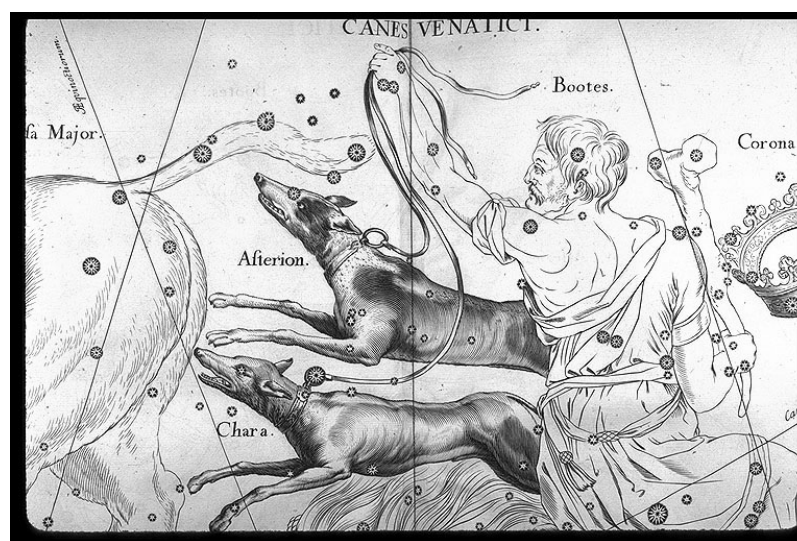


Figura 2.4: Detalhe de carta introduzindo a constelação dos Cães de Caça, comandados pelo Boieiro. *Firmamentum Sobiescianum* de Johannes Hevelius. Fonte: Linda Hall Library of Science, Engineering and Technology.

Ainda algumas décadas depois, o último nome para nossa lista é o do francês Nicolas-Louis de Lacaille. Inicialmente, foi empregado por outro astrônomo, Jacques Cassini, junto com quem trabalhou, durante dois anos, na medição do arco meridiano francês. Depois disso, desejoso de conhecer os céus do sul, propôs uma expedição ao Cabo da Boa Esperança (atual Cidade do

Cabo), extremo sul da África. De lá, ele fez medidas da paralaxe¹³ do Sol e da Lua (usando Marte para triangulação). Mediu também um arco meridiano na África, intentando verificar a forma esférica da Terra no hemisfério sul. Por fim, elaborou um catálogo com, er, 9776 estrelas do hemisfério sul. Isso com uma porcaria de luneta que aumentava apenas oito vezes! Pois bem, com essas novas observações, muitas novas estrelas do sul foram conhecidas; era natural que surgissem novos agrupamentos. Foi assim que Lacaille criou 14 novas constelações austrais, todas com nomes de instrumentos e todas ainda usadas: ANTLIA (Máquina Pneumática), CAELUM (Cinzel), CIRCINUS (Compasso), FORNAX (Forno), HOROLOGIUM (Relógio), MENSA (Mesa), MICROSCOPIUM (Microscópio), NORMA (Esquadro), OCTANS (Oitante), EQUULEUS PICTOR (Cavalete), PYXIS (Bússola), RETICULUM (Retículo), APPARATUS SCULPTORIS (estúdio de escultura) e, por fim, TELESCOPIUM.

Além das novas constelações, ele renomeou a Apus de Plancius como MUSCA (Mosca) e dividiu a gigantesca Argo Navis em três partes, para facilitar o trabalho dos astrônomos: CARINA (ou Quilha), POPA e VELA. Assim, juntando as 48 constelações clássicas, os 16 animais de Plancius-Bayer, as sete redivisões de Hevelius, os 14 instrumentos e a tripartição do Navio por Lacaille, chegamos enfim às 88 constelações modernas.

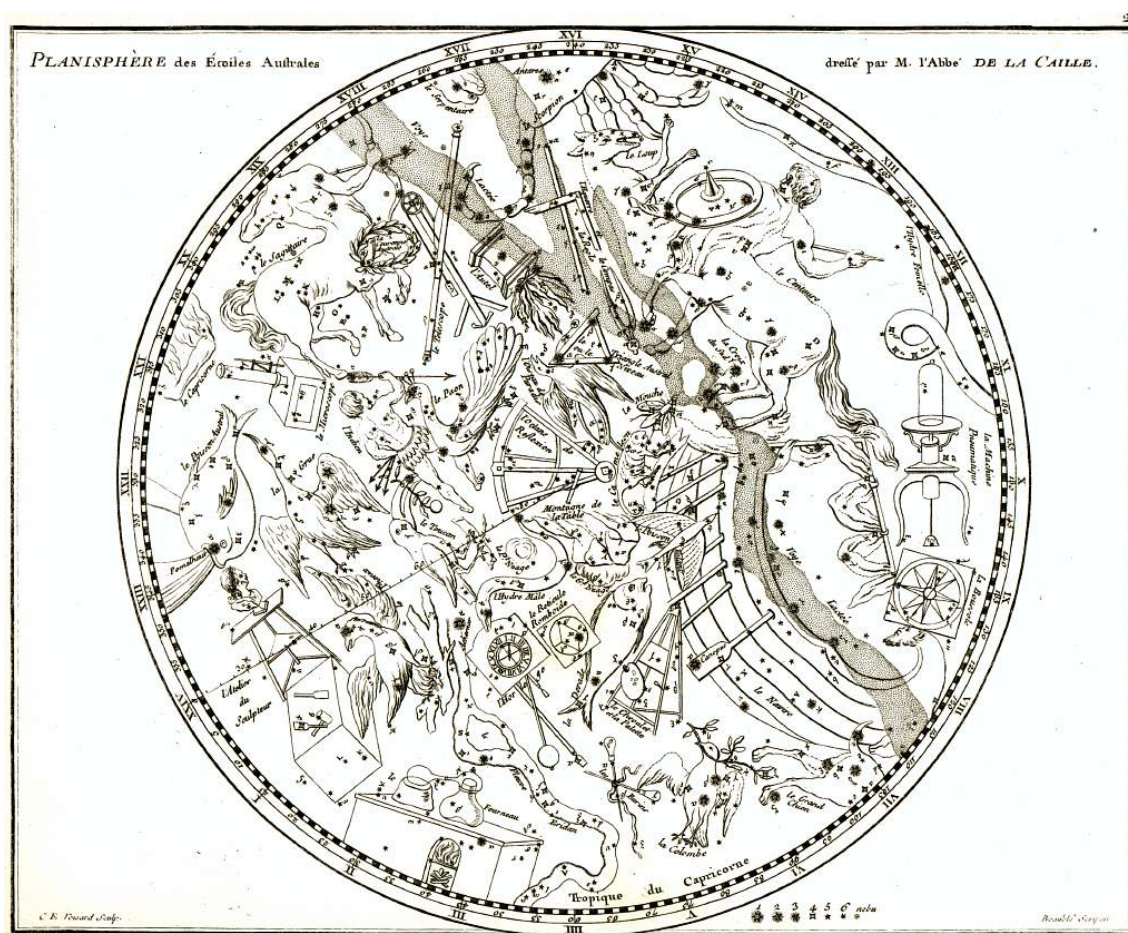


Figura 2.5: Planisfério do hemisfério sul celeste, com as constelações introduzidas por Lacaille, com nomes em francês. O atlas é o *Atlas Céleste* de Jean Fortin, de 1776. Fonte: <http://www.ianridpath.com/startales/lacaille.htm>

¹³Não sabe o que é paralaxe? Leia o Volume III!

2.3 Os Contemporâneos

2.3.1 Lotes do Céu

De Lacaille, pulamos para o fim do século XIX, quando surgiu a primeira proposta de traçar limites claros entre as constelações. Nesta época, já eram conhecidas diversas estrelas entre as pouco brilhantes; é bem pouco conveniente, cada vez que uma nova delas é descoberta, ficar discutindo a qual constelação ela pertence. Assim, com limites claramente traçados de forma que as constelações englobem toda a área do céu, toda estrela pertence a uma constelação de forma inequívoca, dependendo unicamente da sua posição.

Foi assim que foram propostos limites seguindo círculos de ascensão reta e declinação. Como a proposta foi feita na segunda metade do século XIX, cerca de 150 anos atrás, os limites hoje, graças à precessão, não casam mais tão harmoniosamente com os círculos de coordenadas. De qualquer forma, foi a proposta do século XIX que foi ratificada em 1930 pela *International Astronomical Union* (IAU) então o órgão máximo entre astrônomos. Desde então, esse tem sido o padrão usado. Um exemplo de constelação pode ser vista abaixo.

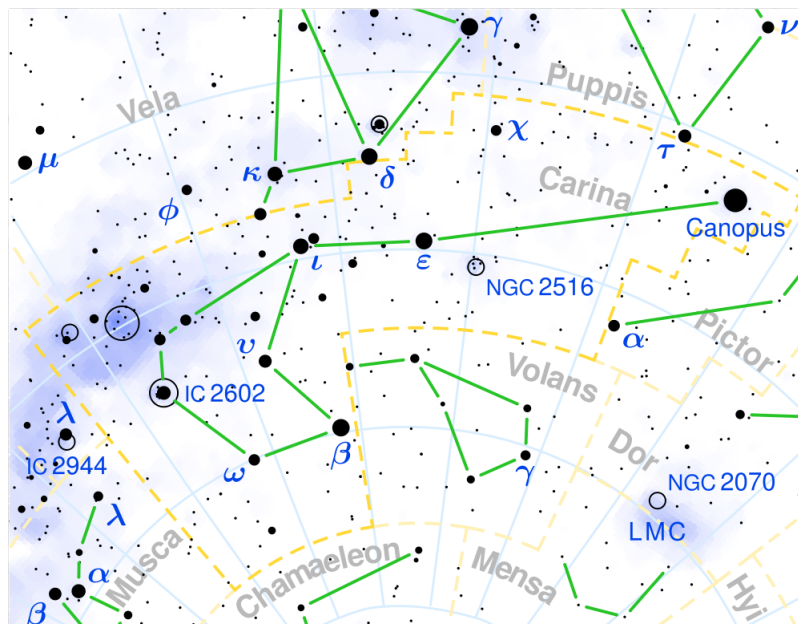


Figura 2.6: Mapa contemporâneo da constelação da Carina. Em tracejado amarelo, os limites do seu "lote". Repare nas fronteiras com Vela e Puppis acima, e com Volans abaixo. Repare também na grade azul-claro, que representa os círculos de ascensão reta e declinação. Linhas sólidas verdes ligam algumas estrelas, fazendo um desenho da Carina. Os nomes das estrelas seguem a nomenclatura de Bayer. Destacados na constelação aparecem ainda um pedaço da Via Láctea e duas outras nebulosas, uma do catálogo NGC e outra do catálogo IC.

Listas completas das constelações e de suas estrelas podem ser vistas nos apêndices.

- 11- Existem cinco constelações circumpolares em Kiev, Ucrânia. Quais são elas? Agora escolha uma cidade com o mesmo valor de latitude que Kiev, mas no hemisfério sul. Quantas constelações circumpolares existem? Quais são elas?
- 12- Que constelações estão, neste momento, atravessando o Meridiano Local?

Capítulo 3

Ligando as Estrelas

Conhecendo as constelações, temos um mapa completo do céu. Conhecendo as histórias e símbolos por trás das constelações, damos sentido a este mapa. Mas ambas as coisas, na maioria das vezes, ainda não são suficientes para nos localizarmos no mapa, ou para usarmos o mapa para nos localizarmos no céu. O motivo para isso é simples e frequentemente ouvido em noites de observação: “como é que os antigos conseguiam ver um sagitário nesse céu? Eu só vejo dois trapézios!” ou “não consigo encontrar o unicórnio de forma alguma!”.

Há duas justificativas para isso, ambas ligadas ao fato de as constelações terem sido criadas em épocas e culturas muito diferentes das nossas. A primeira é que, nessas épocas e culturas, as representações pictóricas, os símbolos e objetos importantes, etc., eram diferentes dos nossos. Assim, não é razoável que um conjunto de estrelas para nós evoque o Rei Cefeu ou a Mansão Púrpura Celestial. Mesmo pensando nas nossas figuras contemporâneas para objetos ou seres importantes, dificilmente enxergaríamos como nossos antepassados. Se fôssemos batizar o céu hoje, seria mais provável termos constelações da Torre Eiffel, do Acelerador de Partículas, do Celular, do DVD ... Algumas figuras sugeridas por nós neste capítulo evidenciam essa diferença cultural¹.

A segunda justificativa é que, nos ambientes em que foram criadas as constelações, as pessoas possuíam algo que, apenas muito recentemente, deixamos de ter: familiaridade geral com o céu. Todos conviviam diariamente com o céu, contavam suas histórias e seus feitos através dele. Isso era ainda mais forte quando o recurso à escrita era inexistente ou restrito (isto é, antes da invenção da imprensa e do letramento amplo da população) e as figuras celestes funcionavam como elementos mnemônicos para os grandes mitos e sagas de uma determinada comunidade. Apenas com o crescimento da cidade e sua dominação pela iluminação noturna é que a vida celeste foi se perdendo. Uma vez que todos possuem luzes e entretenimento nas suas casas, passa a ser cada vez menos natural ir ao lado de fora contemplar as estrelas. Mesmo quando isso é feito, é por pouco tempo e como um passatempo de fim de semana. Além disso, mesmo que algumas pessoas isoladas queiram manter um contato maior com o céu, elas são impedidas pelo uso generalizado que as demais fazem da luz elétrica. Esse problema, que afeta principalmente as grandes cidades, é conhecido como POLUIÇÃO LUMINOSA. Qualquer um que já comparou o céu de uma cidade grande e o de uma cidade pequena ou de um lugar isolado conhece a diferença que isso representa².

¹Está sendo lançado o mais novo concurso do CCD - OBA: vamos fazer a nossa própria carta celeste, com nossas próprias constelações! Se você já inventou ou quer inventar uma constelação nova, mande para nós! Vamos construir esta carta celeste juntos. Para mais detalhes, escreva e-mail! ccd.oba@gmail.com

²As comunidades astronômicas pelo mundo têm se empenhado em uma forte campanha contra a poluição luminosa. Um dos projetos centrais do Ano Internacional da Astronomia, apoiados pela IAU, trata do problema. O nome do projeto é *Dark Skies Awareness*, e pode ser conhecido em <http://www.darkskiesawareness.org/>

De qualquer forma, o problema permanece: é difícil localizar estrelas apenas com nomes e desenhos de constelações. Para isso, os astrônomos amadores e as pessoas comuns desenvolveram outras formas de se localizar no céu. Veremos três delas a seguir.

3.1 Asterismos

Quanto mais simples e facilmente reconhecível um padrão, mais facilmente ficará gravada na memória humana. Essa é a idéia básica por trás dos conjuntos de estrelas conhecidos da maioria das pessoas. Veja abaixo duas figuras do céu: uma apenas com estrelas e a outra coberta de padrões.



Note como reconhecer partes do céu fica MUITO mais simples com as estrelas agrupadas em padrões. No contexto astronômico, os padrões e conjuntos mnemônicos são chamados de ASTERISMOS.

Geralmente menores que as constelações, os asterismos são peças fundamentais para o ensino de astronomia observacional. O que importa sobre um asterismo é o desenho que suas estrelas formam no céu, um desenho mnemônico que pode ir desde um alinhamento de três estrelas (Três Marias) até um bule de chá ou uma caçarola (a *Cassiopeia* da Ursa Maior). Sortudas são as constelações que possuem asterismos fáceis, pois elas serão mais conhecidas. Pergunte a seus avós sobre constelações; as respostas quase certamente envolverão Cruzeiro do Sul e Três Marias.

Fornecemos aqui uma pequena lista de asterismos importantes. A melhor maneira de ler esta e as seções seguintes é acompanhando as descrições em um programa de projeção do céu, como o Stellarium³. Além disso, nada impede cada leitor de criar seus próprios asterismos e mesmo de compartilhar com outros. Se tiver uma boa ideia para um asterismo, envie-nos!

Dentre os asterismos mais famosos, devemos citar:

- **Cruzeiro do Sul:** O mais fácil de todos. Tão icônico que aparece em bandeiras de vários países, estados e organizações.⁴Sua estrela α é a base da cruz, chamada *Acrux* ou *Estrela de Magalhães*. A β é a do braço que aponta para leste, conhecida como *Mimosa*. A terceira mais brilhante, γ , é a do topo: *Gacrux* ou *Rubídea* (por ser levemente avermelhada). A quarta, δ *Crucis*, é a do braço que aponta para oeste, a *Pálida*. Há ainda uma quinta, ϵ *Crucis*, um pouco mais abaixo e mais ao centro que a *Pálida*; como não faz parte do desenho da

³O Stellarium é um programa bastante completo, com design simples e, melhor que isso, gratuito. Ele pode ser baixado em seu site oficial, <http://www.stellarium.org>. Em alguns computadores, a versão mais recente pode apresentar problemas; neste caso, recomendamos as versões 0.8 ou 0.9, na sessão *older versions* do site.

⁴O Cruzeiro do Sul aparece nas bandeiras do Brasil, Austrália, Nova Zelândia, Papua-Nova Guiné e Samoa. Além disso, aparece também na bandeira do estado brasileiro do Paraná, das províncias argentinas de Santa Cruz e da Terra do Fogo, da região chilena de Magallanes, dos territórios neozelandeses de Tokelau e Niue e da maioria dos estados australianos. Além, é claro, de ser o único ícone da bandeira do Mercosul.

cruz, ela é chamada *Intrometida*. Podemos ainda incluir no asterismo duas estrelas muito brilhantes a leste do Cruzeiro, que são α e β Centauri.

- **Três Marias:** Além de asterismo, é uma cidade em Minas Gerais. Ela aparece em diversas culturas, sob diversas denominações. Seus nomes individuais, do leste para o oeste, são: Alnitak (ζ Ori), Alnilam (ϵ Ori) e Mintaka (δ Ori). A estrela mais a leste é cortada quase exatamente pelo Equador Celeste. A partir delas, é fácil achar o paralelogramo que as engloba e que forma o corpo de Órion. A estrela inferior direita, azul e brilhante, é Rigel (β Orionis), o pé do guerreiro; a superior esquerda, bastante vermelha, é Betelgeuse (α Orionis).



- **Quadrado de Pegasus:** Um dos melhores asterismos do céu. Trata-se de um grande quadrado, vazio por dentro e alinhado à grade de ascensões retas e declinações, fornecendo também uma boa base para encontrar coordenadas equatoriais. As quatro estrelas que formam suas pontas são, em sentido horário: Sheddar (β Pegasi), Markab (α Peg), Algenib (γ Peg) e Alpheratz (α Andromedæ), também conhecida como D'Artagnan.
- **Grande Panela:** É a principal referência do céu setentrional - tanto assim que a origem desse adjetivo vem no nome latino dessa constelação, *Setempriones*, ou "sete carros de boi". De fato, sua figura de sete estrelas lembra um carro de boi, ou um arado. Em português e em outras línguas latinas, ela também é chamada de Grande Carro; em dinamarquês (e de forma bem parecida nas outras línguas nórdicas), recebe o nome de *Karlsvognen*, que em inglês tornou-se *Charles' Wain*, o Carro de Charles ou o Carro dos Homens. Se você não gosta de carros-de-boi, pode ficar com a metáfora da panela; no sul da França, esse asterismo é mais conhecido como *La Casserole*; nos Estados Unidos, *Big Dipper*. A borda da panela que está sem o cabo, composta por Dubhe (α Ursæ Majoris) e Merak (β UMa), aponta para o Pólo Norte.
- **Pequena Panela:** Versão em miniatura da Grande Panela, conhecida como Pequeno Carro, Carro das Mulheres, Panelinha, etc. Não teria muita importância se não fosse o fato de sua estrela mais brilhante, Polaris (α Ursæ Minoris), ficar quase em cima do Pólo Norte Celeste! Uma consequência observacional disso é que, ao longo da noite, vemos a panelinha girando como se alguém a segurasse pela ponta do seu cabo.
- **Grande W da Cassiopéia:** Outra referência importante para o hemisfério norte, o W da Cassiopéia está oposto à Ursa Maior, com relação ao Pólo Norte Celeste. Em países árabes, o W é visto como corcovas de um camelo. As três estrelas do fundo do W são Shedir (α Cassiopeæ) e Ruchbah (δ Cas); as das pontas são Caph (β Cas), γ Cas e ϵ Cas.

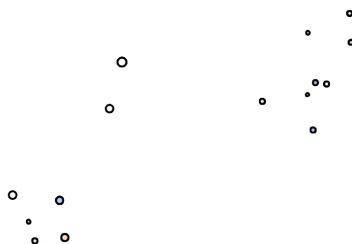
Outros menos famosos, mas úteis, são:

- **Falsa Cruz:** A arqui-rival do Cruzeiro do Sul. Maior, mais deformada e sem a Intrometida. Na verdade, ela fica em Argo Navis, entre a Vela e Carina; é formada pelas estrelas Avior (ϵ Carinæ), Aspidiske (ι Car), δ Velorum e Markeb (ι Vel).

- **Grande Cruz do Sul:** O avô esquecido do Cruzeiro do Sul. O braço maior é formado por Fomalhaut (α *Piscis Austrini*) e Alnair (α *Gruis*); o braço menor é delimitado por β e γ Gru, incluindo várias mini-estrelas da constelação. Esse asterismo foi criado no treinamento olímpico (cearense) de 2012. Também é conhecida como Adaga Onias-Matheus-Victor.



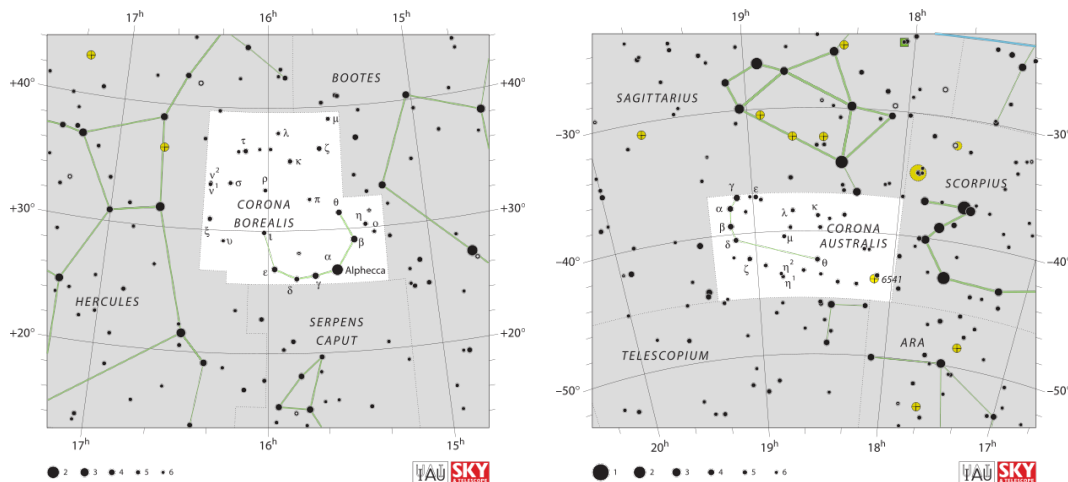
- **Cinturão da Águia:** Parecido com o Cinturão de Órion, mas em uma região totalmente diferente do céu. A estrela principal se chama Altair (α *Aquilæ*). A mais próxima de Altair, e mais vermelha, se chama Tarazed (γ Aql). Do outro lado aparece Alshain (β Aql).
- **Mini-Orion:** Versão alternativa e miniaturizada do Grande Caçador. Como ele é pequeno, só cabem duas marias: β Lupi e κ Centauri. Acima do cinto, os ombros são δ e ϵ Lup, e a cabeça, γ Lup; abaixo, os pés são α Lup e η Cen. Foi criado no treinamento olímpico de 2010.



- **Arminha do Escorpião:** Uma outra maneira de ver a ponta da cauda do escorpião, incluindo seu ferrão. Ela atira em Peacock (α *Pavonis*).
- **Trigonal Plana, Amônia ou Tri-Force:** Trata-se de um asterismo químico muito bonito, em Aquário, próxima a Sadalmaelik (α *Aquarii*). Novamente, não seria tão importante se o Equador Celeste não passasse exatamente pelo meio desse asterismo. Assim, ele é bastante útil para estimar coordenadas equatoriais das estrelas. O Nitrogênio da amônia é representado por ζ 1 Aql; os Hidrogênios são γ , η e π Aql. Criado no treinamento olímpico de 2010.

Uma categoria especial de asterismos é o de várias estrelas pequenas e juntas, como um montinho de pedras brilhantes. Dentre os mais conhecidos, podemos citar:

- *Plêiades*, no Touro.
- *Híades*, no Touro, formando um V.
- *Constelação do Golfinho*, formando um pequeno golfinho.



- *Coroa Boreal* e *Coroa Austral* formando duas pequenas tiaras. A Boreal fica ao lado de Hércules e do Boieiro; a Austral, próxima de Escorpião e Sagitário.

3.2 Alinhamentos

Embora fáceis de reconhecer, os asterismos têm o problema de serem muito pequenos ou localizados. Encontrá-los é fácil mas, sozinhos, eles não ajudam a explorar as regiões mais obscuras do céu. Para isso existem as técnicas de ALINHAMENTOS. Elas consistem em, primeiro, saber reconhecer várias das estrelas mais brilhantes do céu; depois, conhecer linhas, “vias” que as conectem. Assim, saltando de estrela em estrela, é possível chegar na maior parte das constelações. Vejamos como isso funciona, partindo de algumas constelações facilmente reconhecíveis.

3.2.1 No Céu do Verão: de Órion

Como foi dito acima, todos conhecem Órion. Cortada pelo Equador Celeste, essa constelação é composta por um cinturão de três estrelas parecidas (as Três Marias) envolvidas por um quadrilátero: Betelgeuse, Bellatrix, Rigel e Saiph.

A figura abaixo mostra alguns alinhamentos importantes a partir de Órion. O Cinturão aponta, de um lado, para Sirius (α Canis Majoris); do outro, para Aldebaran (α Tauri) e para as Plêiades. Do Cinturão para a cabeça de Órion (λ Orionis ou Meissa), cruzamos o hexágono de Auriga em Alnath (β Tauri) e Capella. Do Cinturão para Betelgeuse, vamos parar nos gêmeos Castor e Pollux⁵. Para Rigel, cruzamos o Erídano e vamos para uma região bastante vazia de estrelas. Abaixo do Órion, repousa a discreta constelação da Lebre (Lepus).

Saindo de Sirius pela reta perpendicular ao Cinturão, o cachorro encontra seu primo menor: Sirius aponta para Procyon, α Canis Minoris. Já o Touro, com a figura das Híades, também aponta vários lugares. Saindo por Aldebaran, chegamos também aos Gêmeos. Usando a outra saída, passamos por Alnath e por Capella (que já havíamos atingido pelo caminho orinônico Cinturão-Cabeça). Outra direção aponta as Plêiades. Já a quarta direção, apontada pelo formato de casa, aponta para Menkar, o olho da Baleia.

⁵Então você se pergunta: será que essas duas estrelas aqui são mesmo as cabeças dos Gêmeos? Eis um truque: meça a distância angular entre Procyon e a segunda estrela do Cão Menor (β CMI ou Gameisa); deve ser igual à distância entre Castor e Pollux.

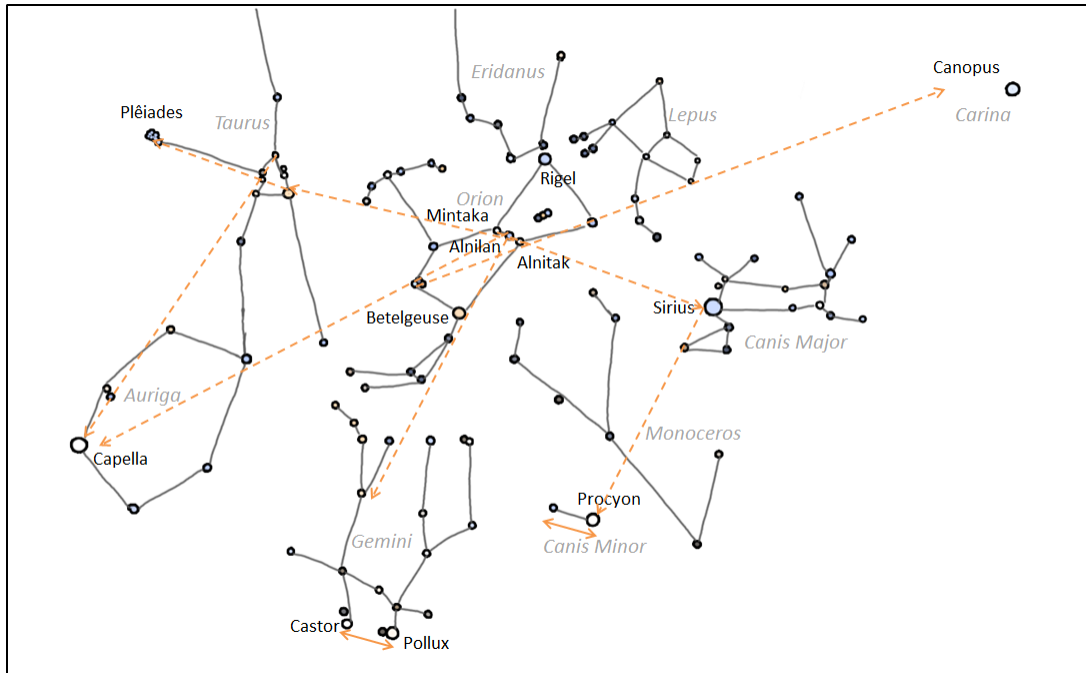


Figura 3.1: Alinhamentos a partir do Orion.

3.2.2 No Céu do Inverno: de Escorpião

O Escorpião é uma figura tão ou mais fácil de reconhecer que o Órion, e está oposto⁶ a este no céu (quando um aparece, o outro está sob o horizonte). Assim, conhecendo os alinhamentos a partir de ambos, é possível cobrir o céu em qualquer época do ano.

O centro do Escorpião é Antares (α Scorpii). Existem três maneiras de achá-la. A primeira é pelo Cruzeiro do Sul (veja próxima seção). A segunda, pela arminha do escorpião. A terceira, pelo bule de Sagitário. Mas não haverá dúvidas: Antares é a estrela mais brilhante num raio de 30° em torno dela. Além disso, como o nome sugere, ela é BEM vermelha⁷.

Tomando a imagem atual do Escorpião, percebemos que ele não tem pinças! Ainda na Antiguidade, as estrelas que compunham as pinças do Escorpião viraram a constelação da Libra (Balança), já que um dos equinócios era marcado por aquela região do céu. De Antares, na direção das pinças, brotam três ramos: Acrab (β Sco), Dschubba (δ Sco) e π Sco. Fazendo uma homotetia com centro em Antares, os ramos levam à Garra Norte (Zubeneschamali), à Garra Sul (Zubenelgenubi) e a σ Librae. Seguindo pelo primeiro ramo (Acrab e Garra Norte), chegamos a Arcturus (α Boötis). Pelo segundo ramo (Dschubba e Garra Sul), chegamos a Spica (α Virginis). Seguindo mais adiante, chegamos em Porrima (γ Vir), uma estrela muito próxima ao Ponto Anti-Vernal (antigo Ponto de Libra).

Seguindo a reta de Spica e Antares, mas para o outro lado do Escorpião, chegamos em Kaus Media (δ Sgt). Saindo de Antares na direção perpendicular, sentido norte, cruzaremos o grande vazio do Ofiúco, atingindo Rasalhague (α Ophiuchi).

⁶Quase oposto: a distância angular entre Órion e Escorpião é cerca de 150° .

⁷Anti Ares é a rival de Marte no céu.

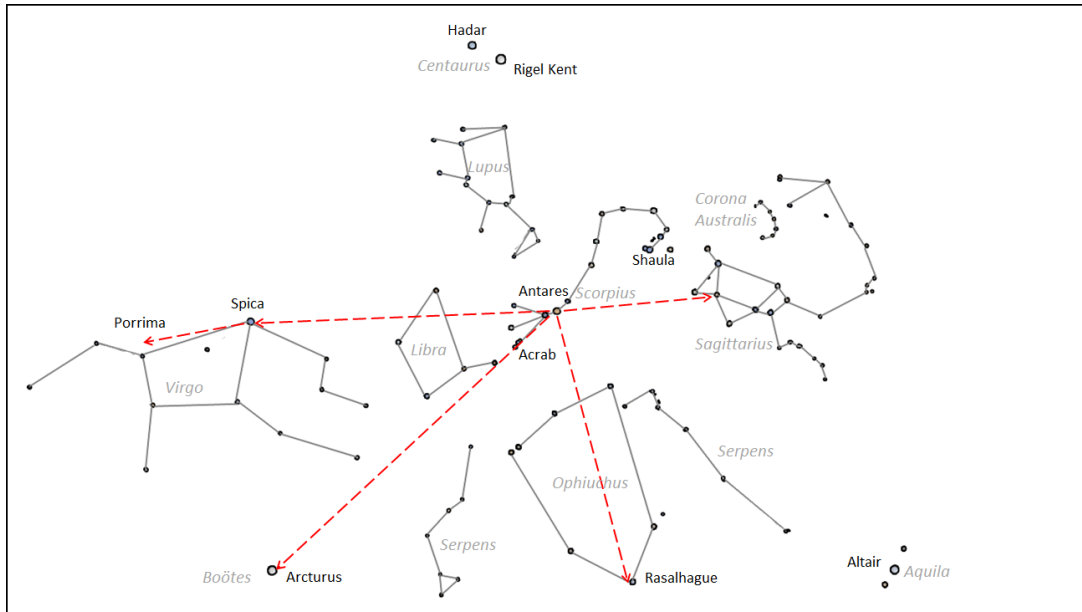


Figura 3.2: Alinhamentos a partir de Scorpius.

3.2.3 No Sul: do Cruzeiro do Sul

Saindo do cruzeiro, conseguimos chegar em quase todas as estrelas brilhantes do hemisfério sul; veja o diagrama.

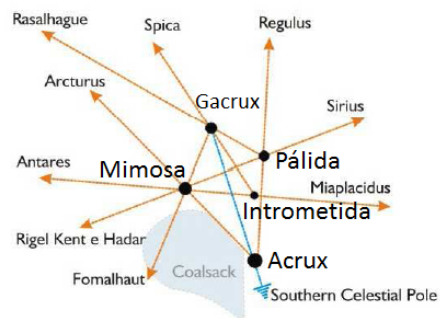


Figura 3.3: Alinhamentos a partir da Crux.

3.2.4 No Norte: de Polaris e Pegasus

O Hemisfério Norte possui várias trilhas conhecidas; as que citaremos aqui nasceram dos estudos das equipes brasileiras participantes da IOAA⁸.

A SEGUNDA TRILHA DO NORTE começa bem perto do Pólo Norte, na Pequena Panela – mais especificamente Kocab (β UrsæMinoris) e Pherkad (γ UrsæMinoris). Seguindo a direção dada por elas, passamos por Etamin (α Draci ou Cabeça do Dragão), Vega (α Lyræ) e Altair (α Aquillæ). Alternativamente, saindo de Vega perpendicularmente à Segunda Trilha, podemos sair pelo PEQUENO CAMINHO, chegando ao Cisne com Deneb (α Cyg) e, mais à frente, encontrando a Primeira Trilha.

A PRIMEIRA TRILHA DO NORTE segue paralela à eclíptica, circundando o drama de Perseus. Ela começa na constelação da Auriga com Menkalinan (β Aurigæ) e Capella (α Aur). Seguindo de Menkalinan a Capella, encontramos Mirphak (α Persei) e dele passamos ao Caminho de Andromeda: Almaak (γ Andromedæ), Mirach (β And), Alpheratz (α And) e Sheddard (β Pegasi). Então chegamos ao Quadrado de Pegasus. Todos os caminhos levam ao Quadrado de Pegasus. Dele, podemos seguir outras vias de volta às estrelas mais brilhantes:

- De Alpheratz para Algenib, chegamos na Baleia (Lapras), em Diphda (β Ceti) e bem depois em Achernar (α Eridani), na cabeça do Rio Erídano.
- De Algenib para Markab, chegamos ao focinho do Pegasus, Enif (ϵ Peg), passando pelo pequeno Golfinho e indo a Altair (α Aquilæ), na Águia. No sentido oposto, voltamos para Áries e Touro.
- De Sheddard a Markab, passamos pelo Aquário, atingimos Formalhaut (α Piscis Austrini) e depois Alnair (α Gruis). No sentido oposto, cortamos Cefeú e chegamos à Polaris.
- Seguindo de Alpheratz a Sheddard, chegamos ao Triângulo do Inverno (que veremos adiante).

3.2.5 No Céu do Inverno-Norte: da Águia

Não se trata de algo realmente ao norte, já que a Águia é uma constelação estritamente equatorial. Mas fica consideravelmente ao norte de Escorpião, nossa principal referência do céu do inverno. Os alinhamentos da Águia podem oferecer um bom complemento aos da peste do Egito.

Saindo de Altair na direção de Tarazed, encontramos Vega (α Lyræ) a Magnitude-Zero. No ponto médio entre Vega e Altair encontra-se Albireo (β Cygnus), a binária que faz o belo bico do Cisne. Desça o pescoço do Cisne, passando pelo meio do corpo e das suas asas, até a brilhante Deneb (α Cygnus), a cauda do Cisne. Altair, Vega e Cygnus formam o triângulo mais famoso de todos: o TRIÂNGULO DE VERÃO (que aparece no céu do nosso inverno). Na direção Altair -> Vega há a pequena flecha (Sagitta), que aponta para o Quadrado de Pegasus.

Saindo de Altair na direção de Alshaim, chegamos à grande asa-delta do Capricórnio. Saindo de Altair na direção perpendicular ao trio, encontramos o Golfinho, outro asterismo fofo; muito depois dele, chegamos também ao Quadrado de Pegasus. Na bissetriz entre as direções de Capricórnio e de Pegasus quase passa o Equador Celeste; ande 40° à frente e estará na Amônia. Ande 30° para trás e estará em Rasalhague (α Ophiuchi). Rasalhague, junto com o triângulo do verão, o expande em DIAMANTE DO VERÃO.

⁸IOAA: *International Olympiad on Astronomy and Astrophysics*, competição da qual o Brasil participa anualmente, desde 2007, com equipes de cinco estudantes.

De Altair ao Capricórnio, dobrando a distância (no total, cerca de 80°), chegamos ao Grou, ao Peixe Austral e a uma região muito obscura do céu.

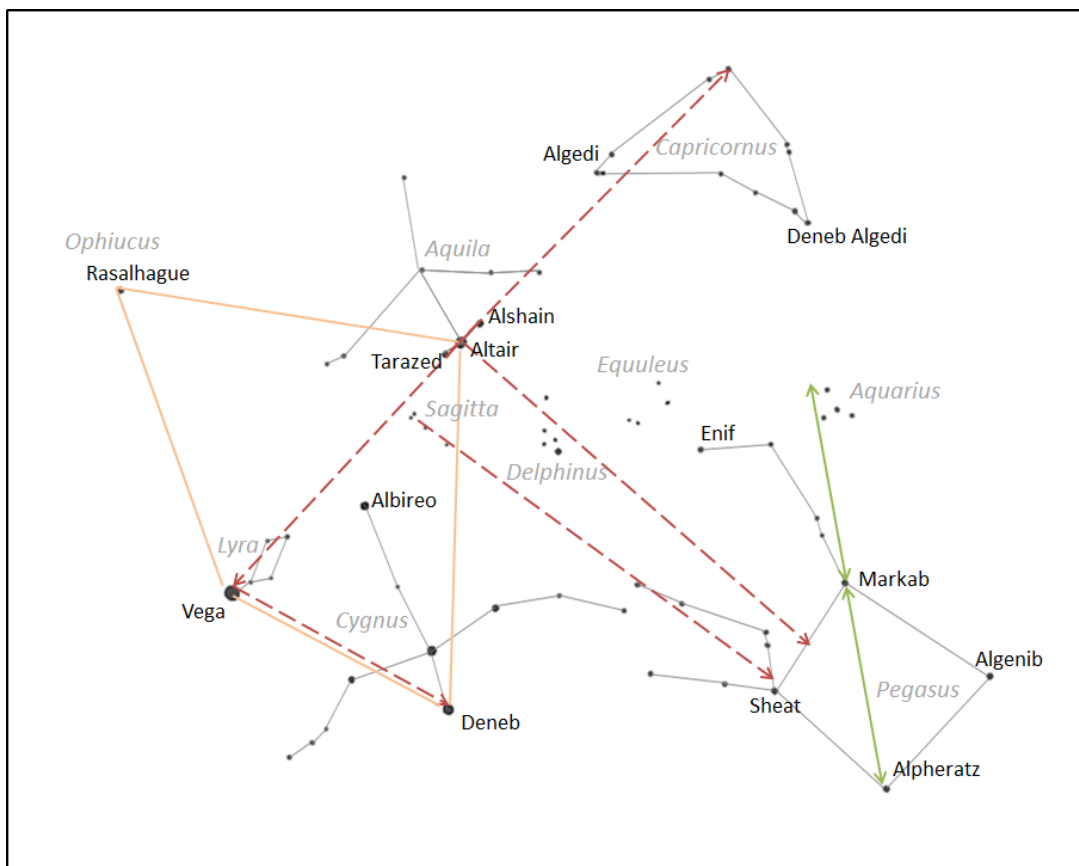


Figura 3.4: Alinhamentos a partir da Águia.

3.2.6 No Vazio: de Grou

Existem algumas regiões vazias no céu; dentre elas, a do Grou merece destaque. Basta ver os nomes das constelações vizinhas: Índio, Tucano, Pavão, Fênix, Escultor, Fornalha, Baleia, Aquário. Duvido que você consiga apontar uma estrela de qualquer uma delas. Dominar o céu, contudo, inclui caminhar pelo Vale da Sombra da Morte Celeste. Justamente pela sua discrição e delicadeza, os alinhamentos de Grou estão entre os favoritos de alguns dos autores.

O próprio asterismo do Grou pode ser representado como um segmento de reta formado por cinco estrelinhas, uma ponta vermelha (β Gru), outra azul (γ Gru) – o braço menor da Grande Cruz do Sul ou Adaga Onias-Victor-Matheus. Ele separa a pequena Alnair (α Gru) da moderada Fomalhaut. Essas duas, junto com Ankaa (α Phoenix), formam o TRIÂNGULO ASSIZ-HALLAK, obscuro o suficiente para ter sido batizado com nomes de membros do CCD.

De Fomalhaut a Ankaa, duplicando a distância, chegamos a Achernar (α Eridani), a foz do Eridano e a nona estrela mais brilhante do céu noturno⁹. De Fomalhaut a Alnair, duplicando a distância, chegamos a Peacock (α Pav), o tiro perdido da arminha do escorpião. O grande triângulo Fomalhaut-Achernar-Peacock é equilátero, com lados medindo cerca de 40°.

Agora tomemos a distância entre γ Gru (do braço menor da Grande Cruz, é a ponta azul, ou mais afastada de Alnair) e Fomalhaut; duplicando essa distância, chegamos a Diphda (β Ceti).

⁹As dez estrelas mais brilhantes do céu noturno são, na ordem: Sirius, Canopus, Alfa Centauri, Arcturus, Vega, Capella, Rigel, Procyon, Achernar e Betelgeuse

Adicionando Diphda ao triângulo Assiz-Hallak, obtemos o DIAMANTE ASSIZ-HALLAK-SVAROVSKY. A partir de Diphda, podemos virar noventa graus e seguir para o Quadrado de Pégasus, ou continuar curtindo a vida na Baleia.

Para reconhecer o formato da Baleia, lembre-se do Lapras. Seguindo de Fomalhaut a Diphda (ou, no sentido oposto, seguindo a seta das Híades), encontramos Menkar (α Cet), o focinho do Lapras. Seu pescoço é δ Ceti. Então o corpo do grande dragão azul se formará. Diphda é a base do rabo; ι Cet é sua ponta. Baten Kaitos (η Cet) é o seu coração. O Rabo do Lapras é muito importante: indo de Diphda a Iota, duplicando a distância, encontramos o Ponto Vernal! Para confirmar, veja o pentágono-cabeça dos Peixes logo a frente.

Voltando ao braço menor da Grande Cruz do Sul: a estrela central das cinco chama-se μ Gru. Saindo pela ponta vermelha, cruzamos a irrelevante constelação do Tucano¹⁰ e chegaremos à Pequena Nuvem de Magalhães. De lá, alcançamos ao Pólo Sul pelo caminho oposto ao do Cruzeiro do Sul. Saindo do braço curto pela ponta azul, chegamos à grande asa-delta do Capricórnio. Saindo de Alnair na direção de μ chegamos à Amônia. Da ponta do Capricórnio (Deneb Algedi ou δ Cap) andando 40° na Eclíptica, ou da Amônia andando 20° no Equador, convergimos novamente para o Ponto Vernal. Com isso, temos um belo quadro de referência para estimar coordenadas equatoriais e eclípticas de estrelas.

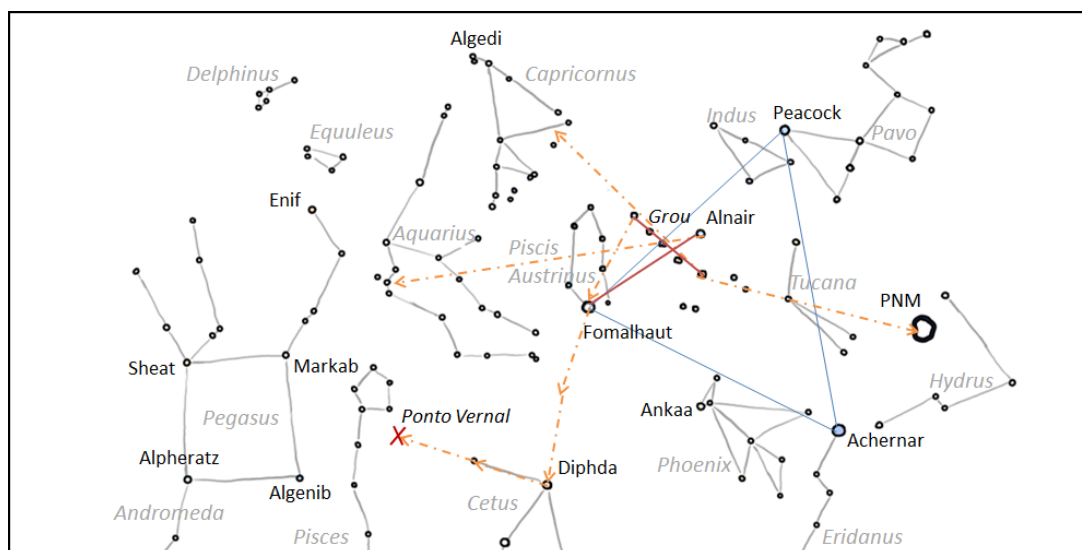


Figura 3.5: Alinhamentos a partir do Grou.

¹⁰O único detalhe digno de nota do Tucano não é o Serra ou o Alckmin, mas 47 Tuc, um belo aglomerado globular ao lado da Pequena Nuvem de Magalhães.

3.3 Triângulos

Um tipo particular de alinhamento, especialmente fácil de localizar, é o de estrelas brilhantes e espaçadas que formam grandes triângulos ou outros polígonos no céu. Talvez o mais famoso entre esses seja o TRIÂNGULO DE VERÃO que, para nós do hemisfério sul, domina os céus do inverno. Ele é formado por três estrelas claramente destacadas de seus entornos: Deneb (α Cygnus), Vega (α Lyræ) e Altair (α Aquillæ). Junto com Rasalhague, ele pode se expandir como DIAMANTE DO VERÃO.

No nosso verão também possuímos um grande triângulo, que chamaremos de TRIÂNGULO DE INVERNO: Sirius, Procyon e Betelgeuse. Esse triângulo pode ser expandido para HEXÁGONO DE INVERNO ou GRANDE G: Sirius, Procyon, Pollux, Capella, Aldebaran e Rigel.

Há outros triângulos mais específicos; por exemplo, o TRIÂNGULO AAS: Antares, Arcturus e Spica, ou *Angle, Angle, Side*. Este triângulo engloba a Libra. Ele pode ser expandido em diamante incluindo Cor Caroli (α Canum Venaticorum).

Outro exemplo menos brilhante e já mencionado é o TRIÂNGULO ASSIZ-HALLAK, composto por Alnair (α Grus), Ankaa (α Phoenix) e Fomalhaut (α Piscis Austrinus). Essas três estrelas não são tão brilhantes, mas ficam em uma região bastante apagada do céu; assim, ele serve como bom guia para algumas constelações mais obscuras. O Triângulo Assiz-Hallak pode ser estendido para DIAMANTE ASSIZ-HALLAK-SVAROVSKY, quando inclui Diphda (β Ceti).

- 13- Desenhe o céu todo. Comece com as estrelas-ponteiro, aquelas mais importantes e que podem ser ligadas umas às outras pelos alinhamentos. Depois, em volta de cada estrela importante, desenhe o resto da sua constelação e as constelações vizinhas. Existem problemas de projeção, mas não se preocupe com isso agora. Depois de terminar seu desenho, olhe o Stellarium e veja o que você errou e o que esqueceu de colocar. Uma semana depois, desenhe de novo.

Capítulo 4

O Sol na Esfera

A cerâmica índigo de manchas brancas do céu só é visível à noite; durante o dia, tudo é claro e luminoso, com o grande círculo de fogo que tudo ilumina, o Sol. Ao longo de um dia, o Sol parece se mover junto com o céu: nasce no lado leste, sobe até seu ponto mais alto (numa inclinação correspondente à altura do polo no local), desce para se pôr no lado oeste.

Contudo, com o passar de muitos dias, pequenas diferenças podem ser notadas na posição do Sol em relação às estrelas. Podem ser melhor notadas, inclusive, se prestarmos atenção ao Nascer do Sol.

A primeira dessas diferenças é que ele não se move com a mesma velocidade da Esfera. A cada dia, ele nasce mais ou menos 4 minutos atrasado, com relação às estrelas. Isso pode ser visualizado do seguinte modo: pegue uma estrela que esteja nascendo no mesmo momento que o Sol, num certo dia. Os gregos chamavam esse dia de dia do NASCER HELÍACO dessa estrela¹. No dia seguinte, quando essa estrela nascesse, o Sol ainda não teria aparecido; ele demoraria ainda quatro minutos para nascer - o que corresponde a mais ou menos um ângulo de um grau no céu. Dois dias depois, e o Sol já estaria oito minutos atrasado com relação à estrela - e nasceria um pouquinho menos de dois graus mais baixo. Passados 365 dias, os atrasos já teriam acumulado uma volta completa do Sol, e ocorreria um novo nascer helíaco daquela estrela. Esse período para o Sol completar um atraso é o que chamamos de ANO.

Assim, cada estrela tem um nascer helíaco por ano. Se é uma estrela brilhante ou importante, seu nascer helíaco também é importante; uma estrela em nascer helíaco indica de alguma forma uma conexão com o Sol. Os efeitos do Sol sendo regido por essa estrela devem poder ser sentidos na Terra. Muitas estrelas, ou conjuntos de estrelas, foram batizadas de acordo com o que acontecia na Terra (clima, plantação, cheias dos rios, etc.) na época de seus nasceres helíacos.

A segunda diferença é que o Sol não nasce sempre exatamente no mesmo ponto no horizonte. Em certas épocas ele nasce mais ao norte, em outras épocas mais ao sul. Se em um certo dia o Sol nasce atrás de uma determinada montanha, depois de um ano (quando ele tiver completado o atraso com relação ao céu), ele nascerá atrás da mesma montanha. Se olharmos o nascer do Sol todos os dias ao longo de um ano, veremos ele indo para o Sul até um certo extremo, voltando para o Norte num extremo simétrico, e então para o Sul de novo, até a posição do primeiro dia em que observamos.

Os dias mais extremos, em que o Sol parece parar sua ida para o norte ou para o sul e mudar de direção, são os dias que chamamos de SOLSTÍCIOS (*sol parado*, em latim). Repare que, para os habitantes do hemisfério sul, o solstício em que o Sol está mais ao sul é o dia em que ele passa mais tempo acima do horizonte; o solstício em que ele está mais ao norte é o dia em que ele passa

¹Helios é como os gregos chamavam o Sol.

menos tempo no horizonte. Para os habitantes do hemisfério norte acontece o oposto: o dia do solstício norte é o que tem mais horas de Sol, e o do solstício sul, menos.

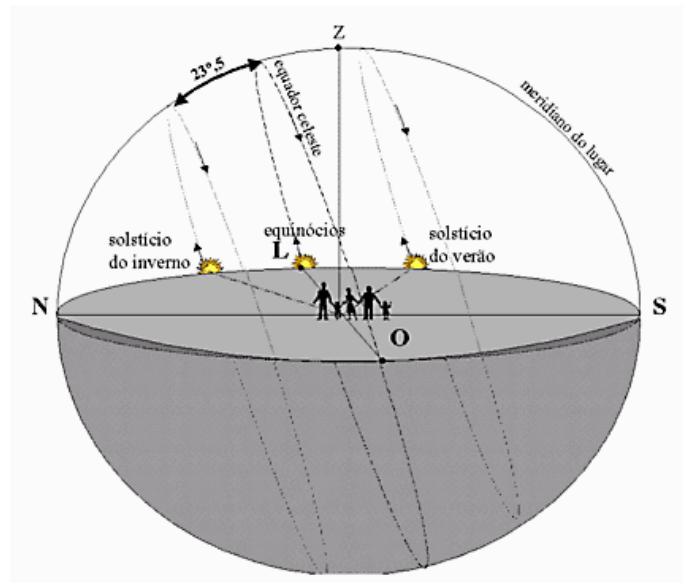


Figura 4.1: Movimento diário do Sol durante os solstícios e equinócios.

Essa diferença de tempo de iluminação, e também a diferença da inclinação com que os raios solares atingem a Terra (e a altura que o Sol sobe no céu) é o que gera as diferenças entre as estações do ano. Perto do solstício de menos luz, os dias são mais frios – INVERNO; perto do outro, são mais quentes - VERÃO. Quando é verão no sul é inverno no norte e vice-versa.

Além dos extremos norte e sul do nascer do Sol, podemos marcar o meio do caminho, que é nada menos que o ponto em que o Equador Celeste cruza o horizonte! O Sol passa por esse ponto duas vezes por ano (uma indo de norte a sul e outra de sul a norte). Isso significa que, duas vezes ao ano, o Sol nasce *exatamente* no ponto Leste, se põe *exatamente* no ponto Oeste e passa exatamente metade do dia acima do horizonte, para todos os locais da Terra. Esses dias são chamados EQUINÓCIOS (do latim, noites iguais – noites iguais aos dias, em todos os lugares do planeta). Os equinócios são equidistantes dos solstícios, tanto espacial quanto temporalmente.

Esses dias de Sol mais equilibrado marcam as estações mais equilibradas. Para as pessoas do hemisfério sul, o equinócio sul → norte marca o OUTONO (verão → inverno) e o equinócio oposto, norte → sul, marca a PRIMAVERA (inverno → verão). Para o hemisfério norte, novamente o oposto. Os equinócios no nosso calendário acontecem aproximadamente nos dias 21 de março e 22 de setembro. Os solstícios acontecem 21 de julho e 22 de dezembro.

Para os habitantes do Equador da Terra, estações do ano não fazem muito sentido; o Sol nunca fica muito baixo no céu, e passa doze horas acima do horizonte todos os dias. O clima varia muito pouco. Nos pólos terrestres, por outro lado, as estações são as mais extremas: durante metade do ano (a metade em que o Sol nasce mais próximo ao pólo celeste correspondente) o Sol fica acima do horizonte e, na outra metade do ano, ele não chega a nascer!

4.1 Caminho do Sol

O Sol não se move junto com a Esfera; ele se move *através* dela. Podemos dizer que ele tem um movimento próprio, mas é arrastado diariamente pelo movimento da Esfera, fazendo assim os dias e as noites. Sabemos que esse movimento próprio do Sol tem um período de um ano, e

que ele deve acontecer descrevendo um círculo máximo na Esfera (o que explica o deslocamento em relação às estrelas), inclinado com relação ao Equador (o que explica a oscilação anual norte-sul). Esse círculo inclinado se chama círculo da ECLÍPTICA². Essa inclinação da Eclíptica pode ser medida, e vale cerca de 23,5°.

A trajetória eclíptica define um hall de estrelas privilegiadas: as estrelas por cima das quais o Sol passa. Essa faixa coberta pelo Sol no céu era chamada pelos gregos de ZODÍACO. O zodíaco dos gregos era dividido em doze casas, cada uma associada ao grupo de estrelas onde o Sol estava naquela época. Creio que todos são familiares às casas zodiacais, mas não custa apresentá-las novamente (na ordem, a partir da casa do Equinócio de 21 de Março): Áries, Touro, Gêmeos, Câncer, Leão, Virgem, Libra, Escorpião, Sagitário, Capricórnio, Aquário, Peixes.

Quando falamos em zodíaco, a primeira lembrança que vem é a das previsões astrológicas de jornais e revistas. O assunto é controverso e, na maioria das vezes, mal colocado. Douglas Adams sintetiza bem o problema em uma passagem de seu livro *Praticamente Inofensivo*:

– Eu sei que astrologia não é uma ciência - disse Gail. - Claro que não é. Não passa de um conjunto de regras arbitrárias como xadrez ou tênis, ou... qual é mesmo o nome daquela coisa esquisita de que vocês ingleses brincam?

– Hummm... Críquete? Autodepreciação?

– Democracia parlamentar. As regras meio que surgiram do nada. Não fazem o menor sentido, a não ser quando pensadas no próprio contexto. Mas, quando a gente começa a colocar essas regras em prática, vários processos acabam acontecendo e você começa a descobrir mil coisas sobre as pessoas. Na astrologia, as regras são sobre astros e planetas, mas poderiam ser sobre patos e gansos que daria no mesmo. É apenas uma maneira de pensar sobre um problema que permite que o sentido desse problema comece a emergir. Quanto mais regras, quanto menores, mais arbitrárias, melhor fica. É como assoprar um punhado de poeira de grafite em um pedaço de papel para visualizar os entalhes escondidos. Permite que você veja as palavras que haviam sido escritas sobre o papel que estava por cima e que foi removido. O grafite não é importante. É apenas uma maneira de revelar os entalhes. Então, veja, a astrologia de fato nada tem a ver com a astronomia. Tem a ver com pessoas pensando sobre pessoas.

É nesse mesmo sentido que a análise astrológica guarda uma compreensão importante, que exploraremos na seção seguinte: a de que suas constelações, mais do que desenhos ou meras representações, carregam símbolos culturais, religiosos e míticos, que têm fortes relações com as culturas e as formas de compreender o mundo. Vamos explorar melhor o simbolismo de cada uma.

² A Eclíptica é o círculo em que o Sol sempre está e é muito próximo do círculo em que a Lua sempre está. É, portanto, o círculo onde acontecem os eclipses. Daí o nome =P

Como introdução às casas zodiacais e suas estrelas, começamos com uma poesia:

O Círculo Máximo do destino,
Zodíaco é palavra de lei.
Define até a postura do rei.

Em Áries habita o terror.
Sangue borbulhante de quentura.
Hamal já deflagra a guerra
que destronará o senhor.

Touro, a força.
Aldebaran impera em seu espaço.
O que é do Touro,
dele ninguém tira.

A inteligência de dois em um
representa o esplendor dos Gêmeos.
Pollux e Castor juntos – imbatíveis.

Não há escudo melhor
que a carapaça do Câncer.
Tarf é a governanta da constelação.

Na próxima casa achamos o Leão,
o Caesar da Roma celestial.
Regulus já se mostra em esplendor,
a defender qualquer ameaça ao reinado.

Em Virgem encontramos o encanto,
a perfeição do ser imaculado.
Com pureza de brilho,
a alfa Spica se esguia pelo céu.

Mesmo no Zodíaco é necessária a Justiça.
Ninguém melhor que a Libra pra
equilibrar os horizontes.
Zubeneshamali é a estrela-guia.

Logo após, vem a surpresa.
Encontramos a Magnitude, ela mesma.
Nas garras do Escorpião conhecemos
as garras do artista dos céus.
Antares é o coração do Escorpião.

Sagitário é seu caçador.
Com a Sagita, não tem vez pra Órion.
Em Kaus Australis
encontramos sua precisão.

No Capricórnio reside o etéreo.
O magistral escalador de montanhas.
Deneb Algiedi é seu presente
aos necessitados de perseverança.

Um recipiente, prospectos do futuro.
O Aquário é divino em seu plano.
Sadalsuud é refrator de sombras.

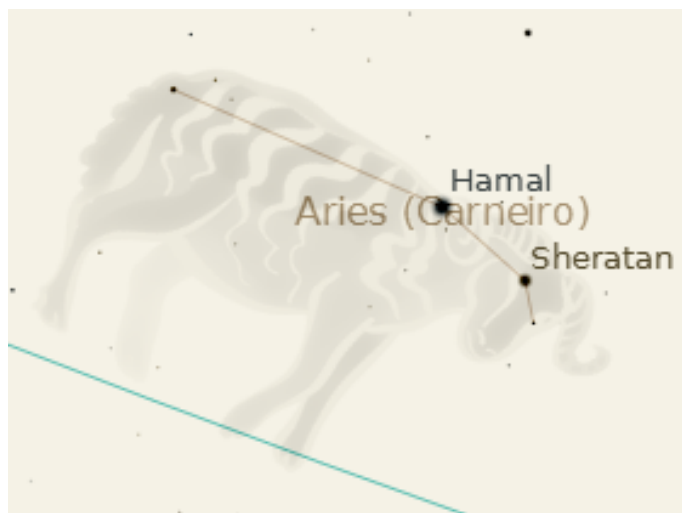
Na última casa, o último signo.
Vai nascer num Erídano de lágrimas.
Os Peixes nadam pelos céus,
embarcados na Alfa Piscium.

No Círculo Máximo do destino,
doze cavaleiros seguem as trilhas do Sol,
e nos revelam a sorte de multidões de desabrigados,
muito além do horizonte,
muito além de tufões e furacões.

3

4.1.1 Áries (♈)

O ícone representa a cabeça e os chifres do carneiro.



Também conhecida como Carneiro, é uma constelação que está ligada intimamente com o início do calendário e lendas cosmogonias em varias culturas antigas. O mês Nisan ou Nissan (do acadiano *nis a nu*, do sumério *nisag*, "primeiros frutos", que se inicia com a primeira Lua nova da época da cevada madura em Israel) do calendário judaico, que corresponde ao mês de março ou abril para nós, o Sol estava nessa constelação, o mesmo mês em que, dizem, o povo hebreu foi libertado do cativeiro egípcio.

Na mitologia grega, Áries é um carneiro com pêlos feito de ouro. Ele fora enviado pelos deuses para ajudar Frixo e Hele, filhos do rei Átamas, governante da Beócia⁴, e da sua falecida esposa Néfele, enteados de Íno, a segunda esposa de Átamas. Há duas versões principais da lenda: uma diz que havia uma peste que estava matando todos na Beócia e, por instrução do oráculo, duas pessoas da família real teriam de ser sacrificadas - o casal de filhos Frixo e Hele.

³Sir Lance é o pseudônimo de um dos estudantes que compôs a equipe brasileira na Segunda OLAA, em 2010.

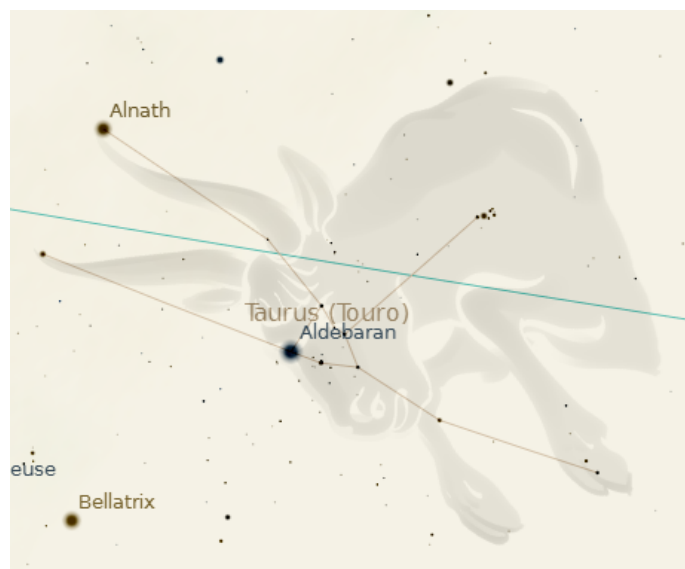
⁴Beócia é uma região situada entre os golfos de Eubéia e Corinto, terra de algumas cidade famosas da Antigüidade, como Tebas, Plateias e Téspis.

Os Deuses, vendo a cena, ofereceram ajuda aos dois, enviando um carneiro de pêlos de ouro que podia voar e falar. Então, para escapar da morte, eles fugiram voando para Cólquida; mas durante a viagem, Hele caiu no mar (num local que ficou conhecido como Helesponto⁵). Quando Frixo chegou em Cólquida, sacrificou o carneiro em honra de Zeus e o ofereceu a Aetes, rei de Cólquida. Essa Lã de Ouro é o que Jasão e os Argonautas buscam. Uma segunda versão tem o mesmo final, mas o motivador do drama, em vez de uma peste em Beócia; Íno queria a morte de seus enteados.

As estrelas dessa constelação possuem um brilho muito fraco; *Hamal*, a estrela mais brilhante, tem magnitude aparente de +2. As constelações Limítrofes de Aries são, em sentido horário: Perseus, Triangulum, Pisces, Cetus e Taurus.

4.1.2 Touro (♉)

O ícone representa a Lua crescente sobre a Lua cheia, ligada à noite.



Uma das constelações mais importantes para os povos antigos. Sua importância ultrapassa em muito a mera convenção de constelações; o Touro era um dos símbolos mítico-religiosos mais poderosos do Crescente Fértil⁶. Símbolo da força, da fertilidade, do princípio masculino; é o Deus que cuida da criação, que se confunde com o próprio céu. De fato, o mitraísmo persa conta que, no início da criação, Mitra sacrifica o Deus Touro, mas sem o olhar nos olhos, pois sua beleza era infinita; morto, seu sangue escorre pelos poros da Terra e daí brotam todas as coisas. Na mitologia egípcia, o touro é associado a Osíris e ao Rio Nilo, o que fertiliza a terra e fornece todos os bens. Na Bíblia, Baal é o deus-touro, que disputa com Javé (Jeová) o domínio sobre o mundo.

Na mitologia grega, a principal aparição do touro é na forma do poderoso Minotauro (símbolo do rei Minos, do Império Cretense, anterior aos helênicos) que Teseu teve de matar para libertar os jovens escravos e fundar Atenas. Touro foi também a forma assumida por Zeus para seduzir a bela ninfa Europa, filha de Agenor, rei da Fenícia. Zeus se disfarçou de um belo touro branco e

⁵Helesponto é hoje conhecido como Estreito de Dardanelos. Ele fica no noroeste da Turquia e liga o Mar Egeu ao Mar de Mármara

⁶Chamamos por esse nome as civilizações e povos que se desenvolveram na região dos rios Tigre, Eufrates, Nilo, e na parte oriental do Mar Mediterrâneo. Isso inclui, principalmente, os Sumérios, Egípcios, Persas, Hebreus, Fenícios e Gregos.

se infiltrou no rebanho do rei, atraindo a ninfa, que montou o animal e então foi por ele raptada. No desenho da constelação, o Touro está mirando os seus chifres em direção do Orion.

A representação mais antiga que se conhece desse símbolo é o da Caverna de Lascaux, na França, que data de cerca de 17000 anos antes de Cristo. Alguns defendem que o desenho já traz inclusive uma representação do aglomerado das Plêiades. O culto ao touro permanece ainda hoje, de formas mais enfraquecidas, no caráter sagrado que as vacas possuem na Índia, e no "ritual" das touradas na Espanha. Seu símbolo astronômico mais forte é a Lua Crescente, que lembra seus chifres e seu domínio dos céus. Esse símbolo taurino é, hoje, utilizado principalmente entre os islâmicos.

Falando sobre fenômenos celestes, é importante notar que o ponto vernal se encontrava na região da constelação do Touro - provavelmente uma das razões pelas quais o animal é representado naquela parte do céu. Assim, o Touro era também aquele que abria o ano e representava a primavera, a época em que tudo brota. Por isso, no alfabeto persa, a primeira letra era um dos símbolos daquele animal/constelação. Os gregos aparentemente mantiveram a referência: a letra alfa (α) provavelmente é uma variação de cabeça de touro.

A constelação possui uma estrela muito vermelha e brilhante (Aldebaran, uma das quatro estrelas reais persas) e dois importantes asterismos. Um deles é o das HÍADES. É o maior asterismo da constelação, tendo o formato da letra "V"). As Híades para os gregos eram as filhas de Atlas e Etéria, e eram chamadas assim por terem uma admiração fora do comum pelo irmão Hias que, quando morreu, desencadeou um pranto sem fim por parte das suas irmãs, comovendo assim os deuses e elevando-as ao firmamento. O nascer helíaco das estrelas desse asterismo (isto é, a época em que nasciam junto com o Sol) era associado ao período chuvoso, por isso o significado do seu nome, Pluviais.

O outro asterismo da constelação do Touro é o das PLÊIADES, um jovem aglomerado aberto. Na mitologia, tratava-se de sete irmãs, filhas de Pleione e Atlas. O nome Plêiades pode parecer que deriva de Pleione, a sua mãe mitológica, mas não é verdade. Há varias hipóteses para o nome; uma delas diz que o nome derivou da palavra grega plêos, que significa cheio, assim denominando um sentido de aglomerado. Outros afirmam que o nome do aglomerado deriva do verbo grego plein, tendo a sua tradução para navegar - o que também é uma explicação para a denominação "Estrelas Marinheiras". Há ainda uma terceira hipótese para o nome, dizendo que ele deriva de peleíades, o mesmo que pombos. Isso explicaria o fato de que, na Europa medieval, o aglomerado era visto como um grupo de pombos, ou galinha com seus pintos.

Muitas crenças fúnebres, ou relacionadas a desgraças, giram em volta das Plêiades. Ela é alvo de muitas tradições que envolvam esse tipo de culto. No Egito, no México e na antiga Bretanha, pensava-se que, quando esse aglomerado se aproximava do Zênite, as almas se desprendiam de seus corpos matérias e iam em direção ao céu. Um exemplo é a homenagem dos anglo-saxões para as Plêiades através da festa do "Halloween".

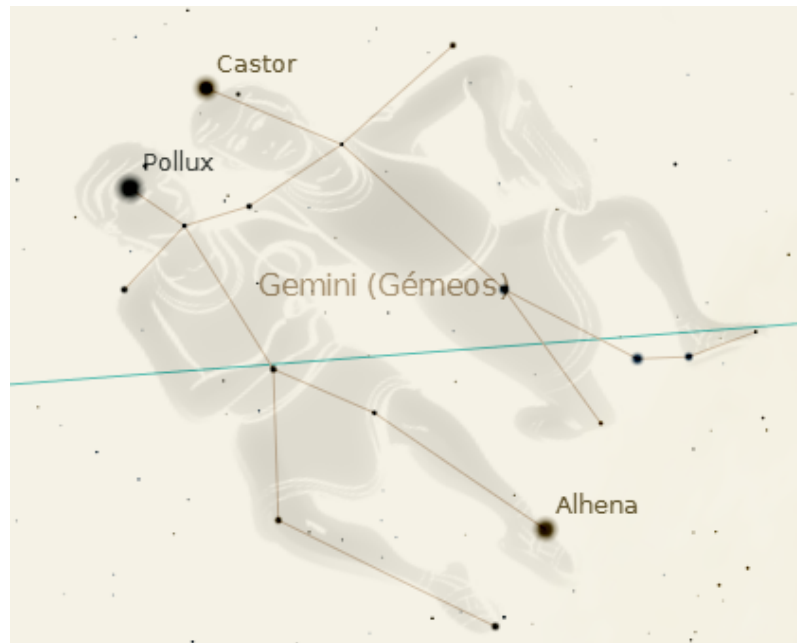
Como dito, na mitologia grega, a origem paterna dos dois asterismos vem de Atlas, um titã que, por levar o conhecimento astronômico aos mortais, foi condenado a sustentar o céu sobre os ombros pela eternidade.

Constelações limítrofes: Perseu, Erídano, Aries, Baleia (Cetus), Orion e Cocheiro (Auriga).

4.1.3 Gêmeos (II)

O ícone deve ter origem no ideograma acadiano correspondente ao mês Kas, quando o Sol entrava em Gêmeos. Também pode ter vindo do algarismo romano correspondente a dois.

Os gêmeos em questão são os heróis Castor e Pollux, também representados nas duas principais estrelas da constelação (α e β Geminorum, respectivamente). Certa feita, Zeus havia se



apaixonado por Leda, esposa do rei de Esparta, Tíndaro. Para se aproximar dela, Zeus se transformou em um belo cisne. Dessa paixão foram gerados os gêmeos Castor e Pollux. Os dois tiveram os melhores tutores da época. Castor se transformou num excepcional cavaleiro; o seu irmão Pollux em um verdadeiro guerreiro. Porém, certa vez os irmãos desafiaram dois jovens para um duelo pela mão de duas jovens que já estavam prometidas. Nessa batalha Castor foi morto. Desesperado pela perda do irmão, Pollux tentou se matar para encontrar o irmão, mas era imortal e não conseguia. O drama foi então imortalizado nos céus, onde os gêmeos aparecem abraçados.

No entanto, existe uma corrente mística (Ptolomeu incluso) que dá à constelação um simbolismo mais rico: os dois rapazes seriam, na verdade, Apolo, brilho e luz, e Hércules, força e coragem. É assim que, em muitos tratados, um dos gêmeos aparece segurando arco, flecha e lira, enquanto o outro aparece com uma clava.

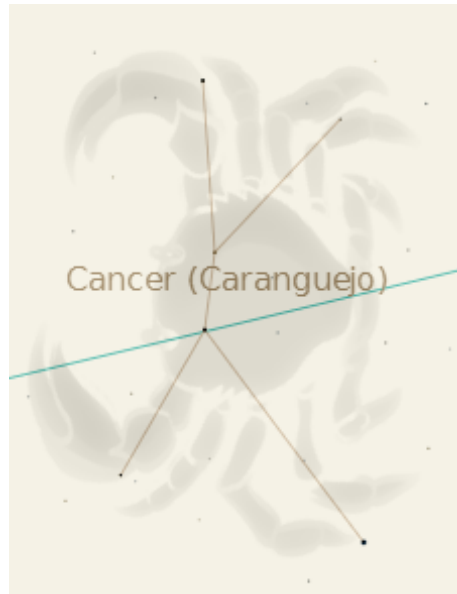
Os egípcios faziam ali a representação do deus Hórus, sendo um o Hórus velho e o outro o Hórus novo.

Constelações limítrofes são: Câncer, Ursa Menor, Orion, Touro, Cocheiro (Auriga), Lince e Câncer. Em Gêmeos se encontra a M35, um aglomerado aberto de magnitude aparente de 5,5 e que fica próximo do encontro entre Gêmeos, Orion e Touro.

4.1.4 Câncer (♋)

O ícone representa as pinças do caranguejo.

O Caranguejo e alguns de seus parentes (Escaravelho, Lagosta), que já foram usados para representar essa constelação, têm forte conexão com a morte e com a passagem para o submundo. Talvez isso esteja relacionado ao fato de viverem na fronteira entre terra e mar (o mar sempre esteve associado ao outro-mundo); talvez por seu andar oblíquo, seu ir e voltar; talvez, no caso dos escaravinhos, por aparecerem em ambientes pútridos. É com esse simbolismo que o caranguejo aparece na história de Hércules, saindo do pântano para atrapalhá-lo enquanto este lutava com a Hidra de Lerna. Pelo mesmo motivo, os romanos associavam a constelação a Mercúrio, o mensageiro.

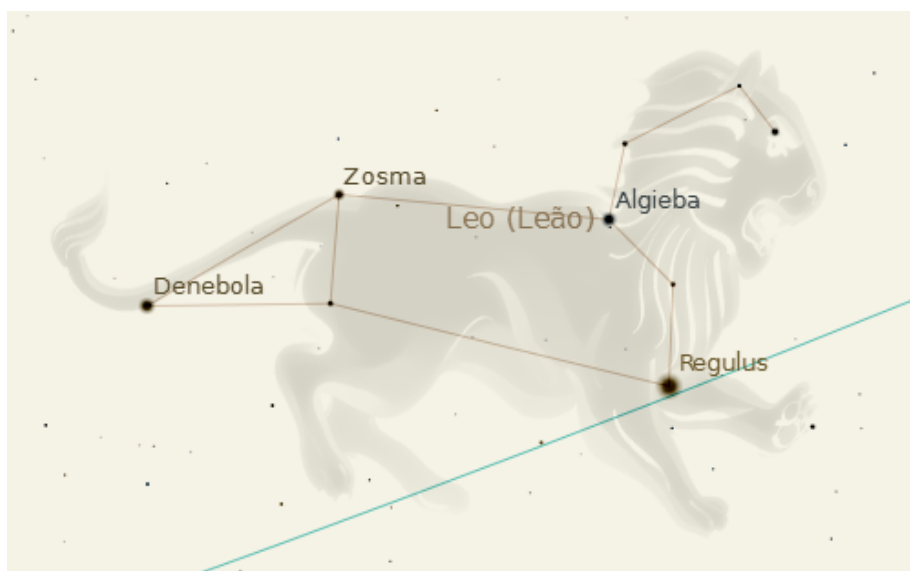


A constelação do Cancer é muito apagada; suas estrelas mais brilhantes são de quarta magnitude. Por isso, é sempre dito um signo escuro.

As constelações limítrofes são: Leão, Cão Menor, Hydra, Gêmeos e Lince. A constelação do Câncer tem objetos interessantes. O aglomerado da Colméia (M44), que foi descrito por Galileu e já era conhecido desde a antiguidade, pode ser observado tranquilamente ao binóculo, já que a sua magnitude aparente é 4. Outro objeto interessante é a M67, a Cobra-Rei, de magnitude 7,5.

4.1.5 Leão (♌)

O ícone representa uma cauda curvada, ou juba, de um leão.



Outro símbolo mitológico forte, que representa brilho, poder, divindade. Na época em que o ponto vernal estava em Touro, o equinócio de verão do norte estava, naturalmente, em Leão.

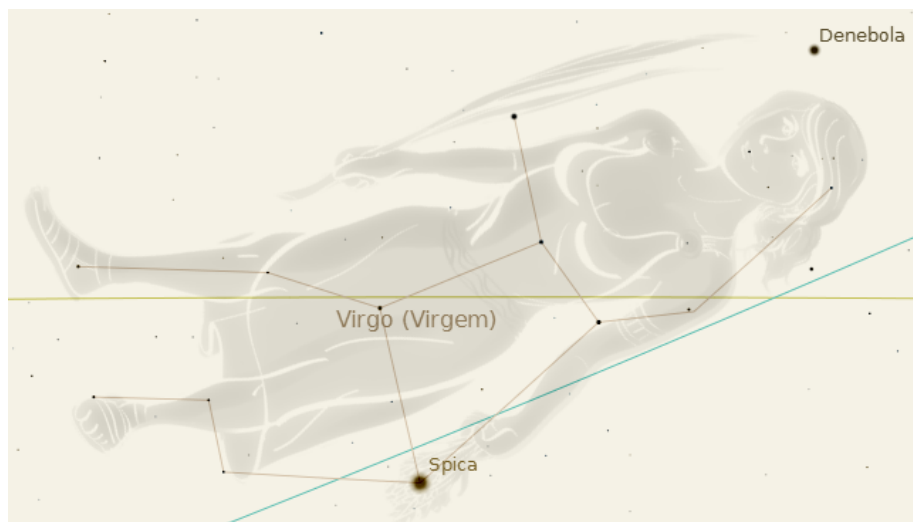
Não é à toa que as esfinges mostram cabeças de faraós em corpos de leão, e que um dos epítetos de Jeová era “Leão de Judá”. A constelação era um leão também para Babilônicos, Persas, Sírios e Hindus. A principal estrela do Leão era uma das quatro ESTRELAS REAIS PERSAS⁷; seu nome, Regulus (α Leonis) é o termo latino para “pequeno rei”. Em grego, o nome da estrela continha a mesma referência: Basiliscus.

Especificamente no caso grego, a constelação representava o gigante Leão da Neméia. Ele era uma das criaturas monstruosas descendentes do Tifão e da Éqdina; dentre os seus irmãos, figuram o Cérbero, a Quimera, a Hidra de Lerna e o Orto. Matar o Leão da Neméia foi um dos doze trabalhos impostos a Hércules em sua jornada.

As constelações limítrofes são: Virgem, Câncer (caranguejo), Leão Menor, Ursa Maior, Cabeleira de Berenice e Taça. No Leão se encontra a NGC 2903, uma galáxia espiral barrada de sétima magnitude, sendo uma boa galáxia para observação com pequenos telescópios.

4.1.6 Virgem (♍)

O ícone possivelmente deriva de MV (Virgem Maria) ou, o mais provável, deriva da primeira sílaba de um dos nomes gregos de virgem (Παρθεννοῦς), a sílaba Παρ.



As associações da mulher virgem com a fertilidade da terra são óbvias demais para precisarmos mencionar. Entre os gregos (e romanos), era mais comumente associada à Demeter (Ceres), deusa olímpica da agricultura e fertilidade. Em algumas representações, entretanto, ela é associada à Diké (Iustitia), a deusa cega da justiça, segurando a Libra. Para os árabes, os grandes nomeadores de estrelas, a constelação era denominada de *Al Adhara Al Mathifah*, a inocente virgem.

Existe uma lenda que associa a constelação à babilônica Ishtar, deusa da fertilidade. Conta-se que, após a morte do marido, Ishtar desceu ao inferno à procura do esposo; lá passou por sete portas, e por cada uma delas ia deixando uma peça de roupa, chegando nua no salão central. Lá fora detida pela deusa das sombras, que não a deixou sair. Em cima, a terra estava coberta de neve, infértil, causando a fome e a miséria nos homens. Preocupados com a grave situação, os deuses enviaram uma mensagem para a deusa do Inferno, Eres-Kigal, para libertar Ishtar; mas esta só sairia se o marido dela saísse também, e assim foi feito. Assim, desde então, o Sol dissolve a neve do inverno quando atinge Ishtar no céu.

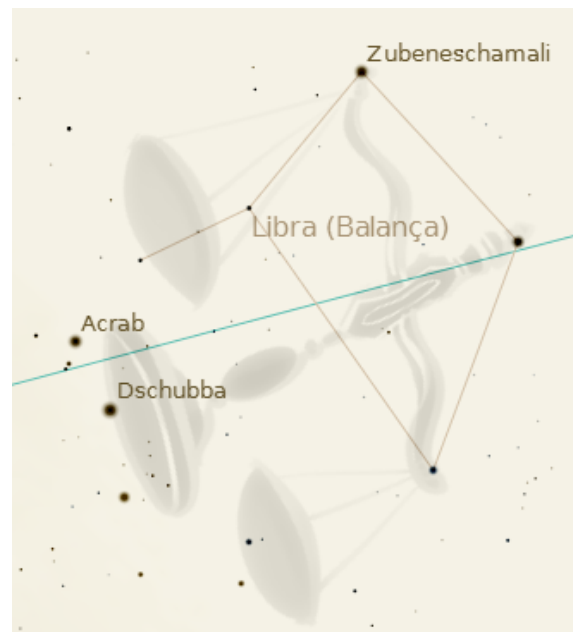
⁷ As quatro estrelas reais marcavam as quatro épocas do ano. Além de Regulus, as outras três eram Aldebaran (α Tau), Antares (α Sco) e Fomalhaut (α PsA)

A estrela Spica (α Virginis) recebe seu nome do latim “espiga”; nas imagens babilônicas e gregas da constelação, ela sempre aparece segurando uma espiga de trigo.

As constelações limítrofes são: Libra, Leão, Boieiro, Cabeleira de Berenice e Hydra.

4.1.7 Libra (Ω)

O ícone representa uma balança estilizada.



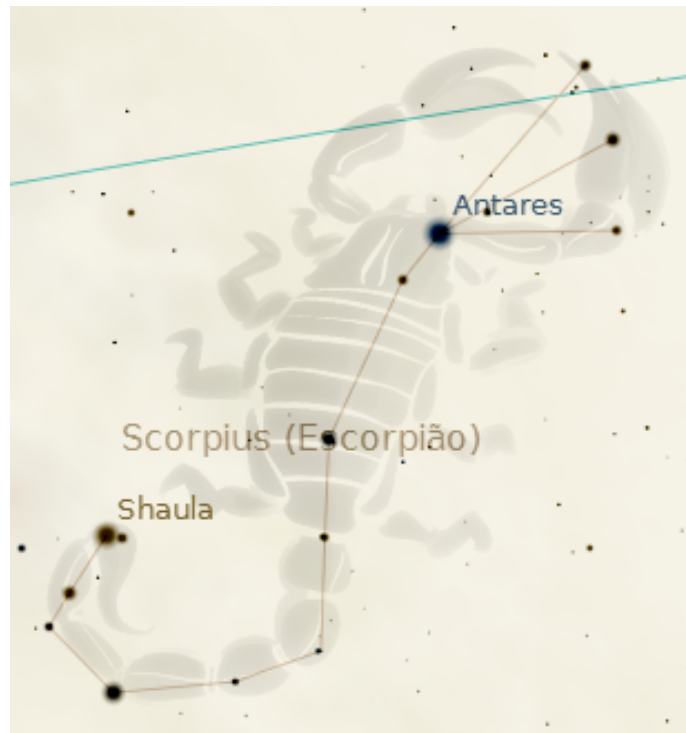
Uma provável referência à Balança é o fato de um dos equinócios, na época dos gregos e romanos, situar-se nessa constelação. Provavelmente é a mais jovem integrante do zodíaco - sua invenção pode ser atribuída com segurança aos romanos. Na Grécia, as estrelas da Libra eram as garras do Escorpião - tanto é que os nomes das estrelas dessa constelação fazem menção às garras do escorpião. Entretanto, há algumas referências mesopotâmicas e egípcias a essa região do céu como um símbolo de balanceio e equilíbrio; uma possibilidade é que os romanos tenham revivido uma tradição esquecida na Grécia Clássica. Esse vai-vem de atribuições simbólicas continuou ainda depois, quando os árabes batizaram as estrelas dessa constelação com os nomes que reconhecemos hoje: Zubenelgenubi (α Libræ), a Garra do Sul, e Zubeneshamali (β Libræ), a Garra do Norte.

As constelações limítrofes são: Escorpião, Virgem, Hidra, Lobo e a Cabeça da Serpente.

4.1.8 Escorpião ($\♏$)

O ícone representa as patas e a cauda do Escorpião.

O Escorpião também é um símbolo forte e antigo, associado ao mau agouro e ao mal em si. Os babilônicos associavam acontecimentos danosos à constelação; na mitologia deles, era um dos três monstros criados por Tiamat, deus do caos e do oceano. Os antigos alquimistas afirmavam que a transmutação dos metais só poderia ser realizada quando o Sol estivesse nesta constelação. Diziam ainda que qualquer planeta que passasse pela constelação era um “mensageiro do mau-agouro”. Na Epopéia de Gilgamesh, o herói (correspondente à constelação de Órion) teve de passar por dois homens-escorpião para passar pela Porta do Sol Posto, depois da qual passou



longas horas tateando na escuridão. Isso provavelmente tem a ver com o Escorpião ser uma constelação meridional, por onde o Sol passava no inverno.

A relação dúbia entre Escorpião e Órion aparece em vários mitos gregos. No céu, as duas constelações são opostas: quando uma é vista, a outra não é. Na versão mais tradicional, Órion prometera matar todos os animais da Terra. Então Ártemis, deusa da caça e protetora dos animais, enviou o escorpião para matá-lo, o que de fato aconteceu. No céu, elas estão em perseguição eterna; durante o inverno (no norte), órion caça livremente; no verão, quando nasce o Escorpião, o caçador põe-se em fuga.

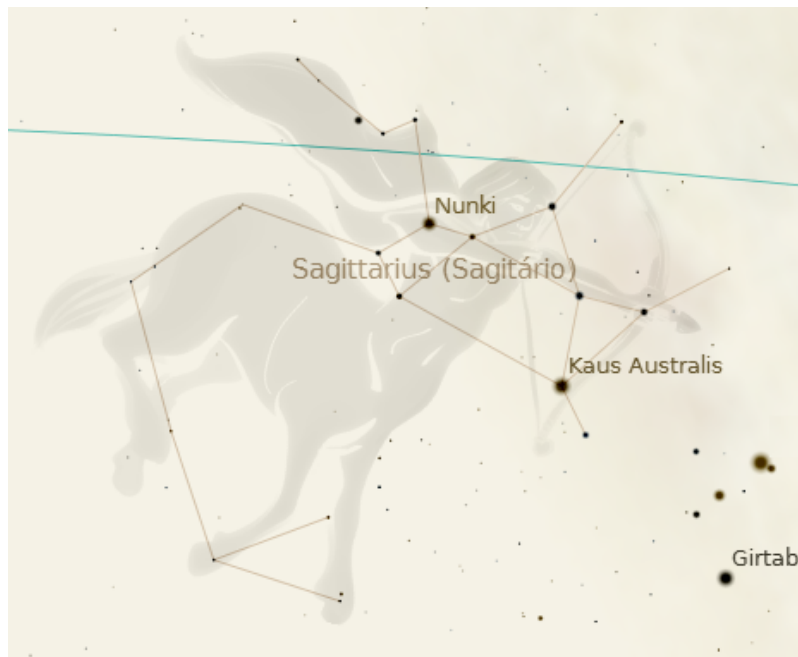
O importante é que o formato da constelação no céu é muito característico, muito facilmente identificado. Para os Maori da Nova Zelândia, esta constelação representava um anzol, que foi o responsável por trazer a Nova Zelândia à superfície, quando ela foi pescada pelo deus Maui. A ilha norte da Nova Zelândia tem por isso o nome de *Te Ika-a-Maui*, o peixe de Maui. Para os australianos e para muitos povos na América do Sul, seu formato representava uma pata dobrada da grande Ema.

A principal estrela da constelaçãoO nome dessa estrela no árabe era *Kal Al-Akrab*, que significa “coração do escorpião”. Já o nome que usamos, grego, vem de *anti-Ares*, ou seja, o rival de Marte no céu (trata-se da estrela mais vermelha dentre as mais brilhantes do céu), não possui muitas referências na antiguidade. Naqueles tempos, a estrela mais brilhante dessa constelação era Sheliak (beta da Lyra), que era bem mais brilhante que Antares.

As constelações limítrofes são Ofiúco, Sagitário, Libra, Régua (*Norma*), Altar (*Ara*) e Lobo. No Escorpião estão localizados alguns aglomerados abertos, como o M4 (Olho de Gato) e o M80.

4.1.9 Sagitário (♐)

O ícone representa arco e flecha que eram carregados pelo Sagitário.



Na mitologia grega, essa constelação representa o sábio e imortal centauro Quíron, que teve os Argonautas como discípulos. Após ser gravemente ferido por uma flecha, sofreu intensamente, até ir implorar a Júpiter para que lhe retirasse a imortalidade. Antes disso, os babilônios o identificavam com Pabilsag, o Primeiro Pai ou Chefe Ancestral. Papilsag já possuía um corpo de cavalo, um ferrão de escorpião na cauda, duas asas e duas cabeças - uma humana e outra felina.

Eratóstenes pontua que o Sagitário dificilmente seria um centauro, já que centauros não usam arco e flecha; ele argumenta então que a figura é de um sátiro: Crotus, filho de Pã. De qualquer forma, sua flecha aponta para Antares, o coração do Escorpião.

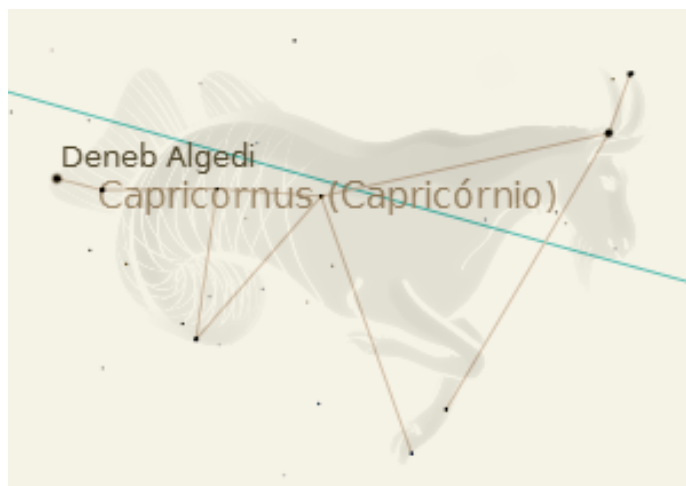
Sagitário está circundado de varias constelações. São elas: Coroa Austral, Escorpião, Ofiúco, Cauda da Serpente, Escudo, Águia, Capricórnio, Microscópio e Telescópio. Alguns objetos interessantes são a Nebulosa da Lagoa (M8), a Nebulosa da Trífida (M20) e os aglomerados estelares M22, M25, M28. Esse acúmulo de objetos celestes se dá pelo fato do centro galáctico ficar na direção da constelação. Um dos pontos solsticiais está localizado muito próximo das nebulosas da Lagoa e Trífida.

4.1.10 Capricórnio (♑)

O ícone são as iniciais da palavra grega que denomina cabra.

Para alguns gregos, o Capricórnio era uma representação do deus Pã (divindade dos bosques e campos), que é metade homem e metade bode. A cauda aquática, contudo, mostra a relação que essa constelação tem com a estação das chuvas. Alternativamente, a constelação pode também se referir à Amaltéia, cabra que amamentou Zeus em sua infância em Creta, enquanto era criado escondido de seu pai Urano. Numa Pompilius, imperador romano de 715 a 673 a.C., determinou que o ano começasse quando o Sol se encontrasse no meio de Capricórnio.

O símbolo de cabra-peixe é bem anterior aos gregos, entretanto. Ambos os animais estão

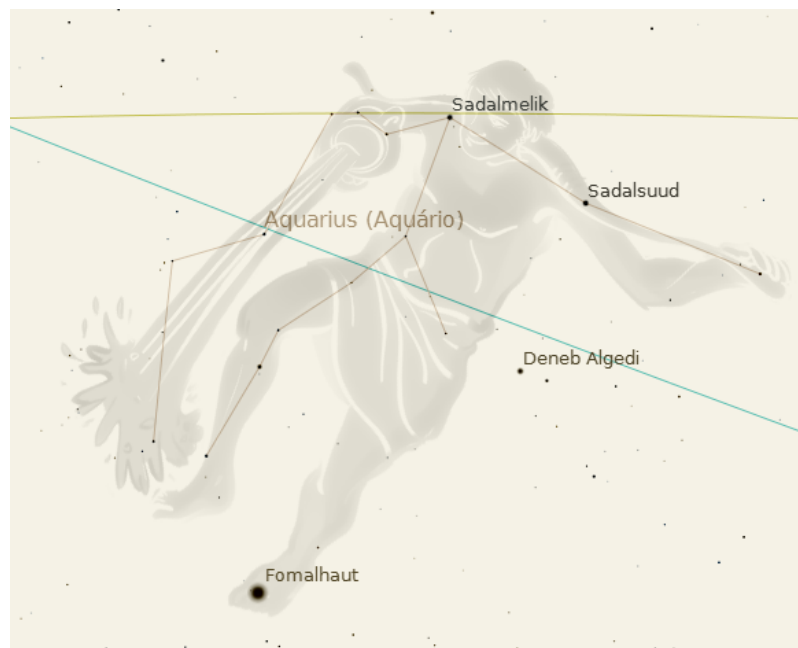


associados à longevidade. Curiosamente, o cordeiro e o peixe sempre foram dois símbolos muito associados à imagem de Jesus.

Essa constelação é de fácil reconhecimento no céu, pois ela lembra o formato de uma asa-delta (como um triângulo meio curvado). Em sentido horário, as constelações limítrofes são: Aquarius, Aquila, Sagittarius, Microscopium, Piscis Austrinus. Pelo nome das estrelas podemos perceber a relação dessa área do céu com a figura vista e a associação com o cotidiano. A estrela α Capricornii, *Giede*, significa cabra em árabe e γ Capricornii, *Nashira*, também em árabe, significa 'sorte no plantio'.

4.1.11 Aquário (♒)

O ícone deriva de um hieróglifo egípcio antigo que designava 'água'.



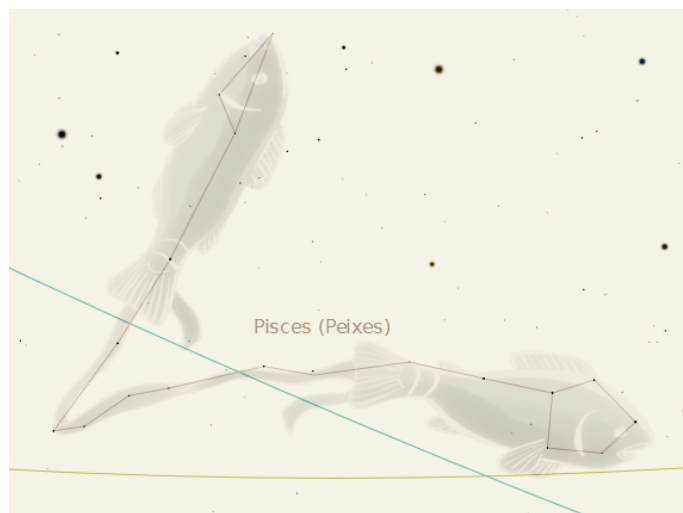
Desde a Babilônia, essa constelação é representada por um homem carregando um balde

cheio de água nos ombros – naquele caso, uma representação do deus supremo Ea (ou Enki, em sumério), deus da água e criador. Eles também relacionavam essa constelação com o décimo primeiro mês de seu calendário, chamado *shabuta* (a calamidade das chuvas). Ea era quem governava o “Caminho de Ea” que o Sol fazia nesta parte aquática do céu. Enquanto o Aquário representava terror e descontrole para os babilônicos, os egípcios tinham uma visão mais positiva: o Aquário era quem derramava suas águas na nascente do Nilo, marcando a época das suas regulares cheias, tão fundamentais para o plantio naquelas terras secas.

Em algumas versões gregas, o Aquário é quem está derramando as águas do longo rio Erídano, que atravessa uma boa parte do céu. Para alguns gregos, o homem que segura a urna é Ganimedes; para outros, é Deucalião, filho de Prometeu, um dos homens que escapou à grande enchente.

4.1.12 Peixes (♓)

O ícone é a representação gráfica de dois peixes unidos.



Essa constelação marca a região das águas no céu - composta por Peixes e suas vizinhas: Aquário, Baleia (Cetus), Peixe Austral, Erídano, Golfinho. Quando o Sol se encontrava naquela região, era a época das chuvas para os mediterrâneos. Em muitas mitologias, o Peixe simboliza nascimento, fartura, riqueza. Por isso é um símbolo feminino, associado à fertilidade. Os primeiros cristãos (e hoje, novamente, muitas denominações cristãs protestantes) usavam um peixe como símbolo de Jesus: o pescador de almas.

Há uma história na mitologia grega em que a deusa Afrodite e o seu filho Eros, ambos associados ao amor e, portanto, à fertilidade fugiam do monstro Tifão. Para escapar, Afrodite e Eros se transformaram em peixes e entraram em um rio. Para não se perderem um do outro, entretanto, eles foram amarrados com uma corda; por isso que a alfa de Peixes recebe o nome de *Al Rischa*, que significa *corda* em árabe. Além disso, na maioria dos desenhos da constelação, há uma cordinha amarrando as barbatanas traseiras dos peixes.

Suas constelações limítrofes, em sentido horário, são: Triangulum, Andromeda, Pegasus, Aquarius, Cetus e Aries.

4.2 13º Andar

Hoje em dia, as constelações do zodíaco (bem como todas as constelações) correspondem a pequenos terrenos no céu - loteamentos com fronteiras muito bem definidas. Embora muito menos romântico, facilita bastante na hora de medir as coisas. Quando lotearam o céu, acabou que um pedaço de uma outra constelação foi cortado pela linha da eclíptica. Essa constelação, do OFÍÚCO (ou serpentário), ficou conhecida então como a *décima terceira constelação zodiacal*.

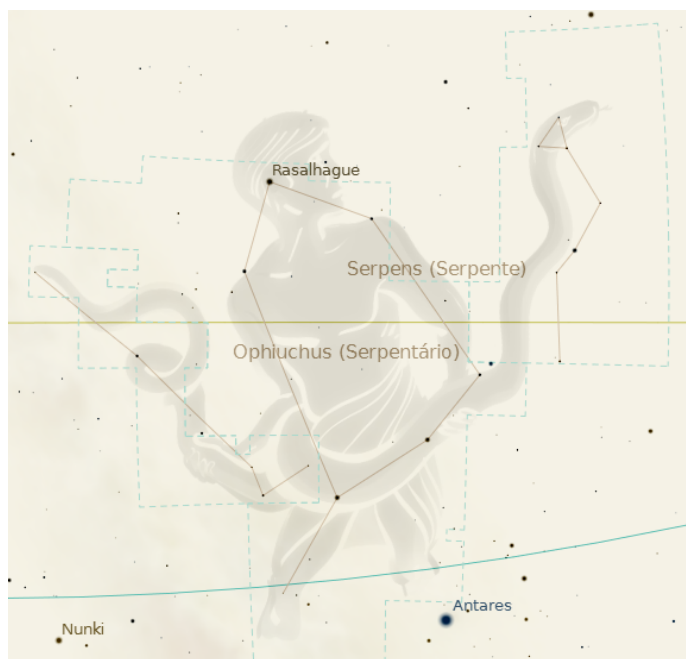


Figura 4.2: Mapa da constelação do Ofiúco e Serpente. Em tracejado, os limites do seu "lote". Repare na linha da eclíptica, cortando Ofiúco bem embaixo, passando também por *Sagittarius* e *Scorpius*. Linhas sólidas ligam algumas estrelas, fazendo um desenho do Serpentário.

Considerando esses limites precisos, aqui vai uma tabela com os períodos em que o Sol fica dentro de cada uma delas:

CONSTELAÇÃO	ENTRADA	SAÍDA	PERÍODO
Sagitário	18 de dezembro	18 de janeiro	32 d
Capricórnio	19 de janeiro	15 de fevereiro	28 d
Aquário	16 de fevereiro	11 de março	24 d
Peixes	12 de março	18 de abril	38 d
Áries	19 de abril	13 de maio	25 d
Touro	14 de maio	19 de junho	37 d
Gêmeos	20 de junho	20 de julho	31 d
Câncer	21 de julho	9 de agosto	20 d
Leão	10 de agosto	15 de setembro	37 d
Virgem	16 de setembro	30 de outubro	45 d
Libra	31 de outubro	22 de novembro	23 d
Escorpião	23 de novembro	29 de novembro	7 d
Ofiúco	30 de novembro	17 de dezembro	18 d

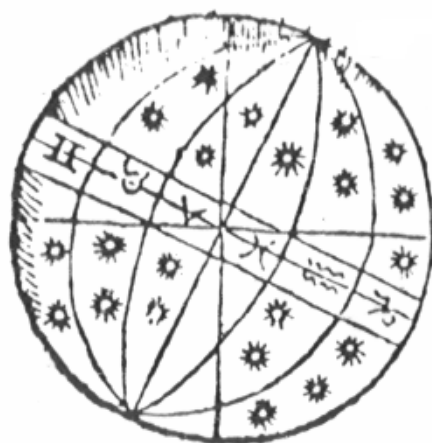
Unidade II

Medindo

Já conhecemos bastante sobre o céu, mas não basta. Não é suficiente conhecer as rosas como elas aparecem no jardim; é preciso metrifica-las, esquadrinhá-las, engoli-las em números e em formas abstratas. A natureza precisa caber inteira nas idéias, na cabeça do homem. É assim que nasceu a ciência, é assim que ela se tornou o que hoje é, substituindo a natureza, como se as idéias e os modelos fossem o próprio real.

Não basta conhecer a forma do Céu e da Terra; é preciso medir a Terra e medir o Céu. É preciso um mapa do céu, um sistema para localizar as estrelas.

Os povos antigos já tinham essa necessidade. Dos egípcios e mesopotâmios, que usavam as estrelas por trás do Sol para fazer disso seu calendário, os gregos herdaram sistema bastante parecido, que acabou se tornando o primeiro sistema celeste de localização. Estamos falando do sistema das casas zodiacais. O caminho do Sol no céu (chamado de círculo da eclíptica) foi dividido em doze casas, medindo o equivalente a 30° cada: Áries, Touro, Gêmeos, Caranguejo, Leão, Virgem, Balança, Escorpião, Sagitário, Capricórnio, Aquário, Peixes. É o zodíaco.



Mas como medir o céu a partir disto? A divisão das doze casas pode ser estendida para o céu inteiro: o céu é partido em doze fatias, e toda estrela pertence necessariamente a uma das fatias. Os chineses tinham um sistema parecido, mas fatiaram o círculo da Eclíptica em 28 casas (cada uma ocupada pela Lua em uma noite), as *Mansões Celestiais*. Mais precisamos de medidas ainda mais precisas, como coordenadas: cada estrela ou fenômeno celeste corresponde a uma posição específica. Assim, conseguiremos encarar quantitativamente a esfericidade do Céu e, com isso, compreenderemos muitas coisas novas.

Capítulo 5

Distâncias e Tamanhos

Um elemento importante para mapear um lugar é uma noção de distâncias. Normalmente medimos distâncias em metros ou quilômetros, mas para a esfera teremos que usar algo diferente: precisamos de uma forma de medir arcos sobre a superfície esférica. Por sorte, já inventaram uma maneira de fazer esse tipo de medida: os ângulos.

Pois bem, que instrumentos precisamos para medir as distâncias e tamanhos no céu? Sextantes, quadrantes, objetos de medição como esses são de uma certa precisão, porém nem sempre você terá ao seu alcance um oitante de bolso, não é verdade? O método mais prático é, acredite você, o uso das mãos.

Apesar de ser um método que apresenta certa variação de valores para uma precisão um pouco maior (já que a proporção entre comprimento do braço e largura da mão não é a mesma para todas as pessoas), o uso das mãos como instrumento de medida de ângulos celestes é um ótimo método para observação a olho nu. Sempre que você for usar as mãos para um caso como esse, primeiro deve tirar a medida com o braço esticado. Na mão, dependendo da distância angular, você irá se adaptar seguindo as medidas aqui propostas. Palmo equivale a cerca de 20° . Chave a 15° . Mão fechada a 10° . Três dedos médios seguidos a 5° . Dedo mínimo a 1° . A figura 5.1 mostra melhor isso.

Outra maneira de fazer isso, que pode ser usada para calibrar sua escala manual, é decorar algumas “unidades de medida” para o céu: algumas distâncias estelares fáceis de ver e com valores conhecidos. Aqui vai uma tabela resumida:

DISTÂNCIA	TAMANHO
Diâmetro da Lua Cheia	$0,5^\circ$
Hadar - Rigel Kentaurus	$4,5^\circ$
Acrux - Gacrux	6°
Hadar - Acrux	12°
Rigel - Betelgeuse	$18,5^\circ$
Regulus - Denebola	$24,5^\circ$
Sirius - Betelgeuse	27°

Podemos também medir ângulos entre objetos celestes e marcas abstratas: a distância de uma estrela até o horizonte ou o zênite; a distância do Sol hoje à sua posição ocupada no último equinócio; a distância de cada estrela de um sistema duplo ao seu centro de massa. Na Unidade III exploraremos melhor algumas medidas angulares sistemáticas que são usadas. Por enquanto, continuemos nossa já difícil tarefa cartográfica.

Tomadas de medidas do céu em graus (com o braço esticado)

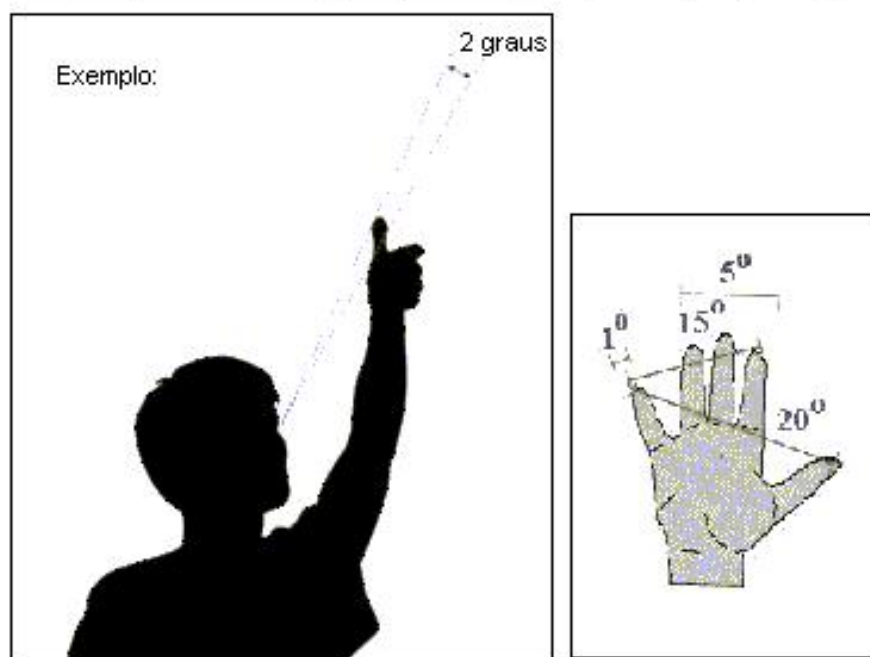
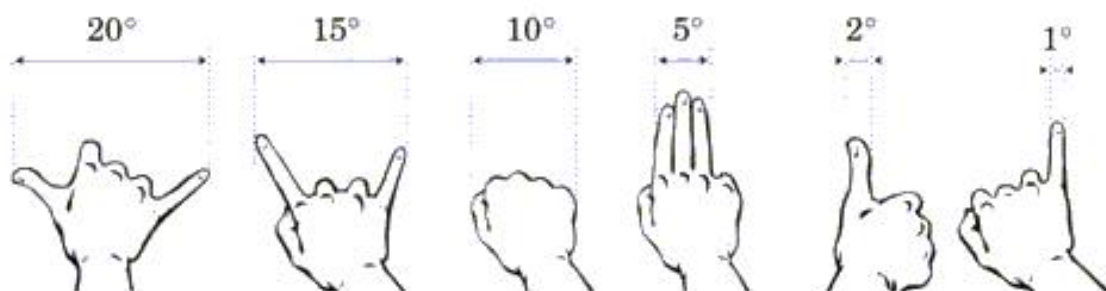


Figura 5.1: Estimando ângulos na Esfera Celeste

Capítulo 6

Coordenadas Esféricas

Voltemos ao início: Hug-Bug olhando para o alto e vendo a imensa Esfera Celeste.

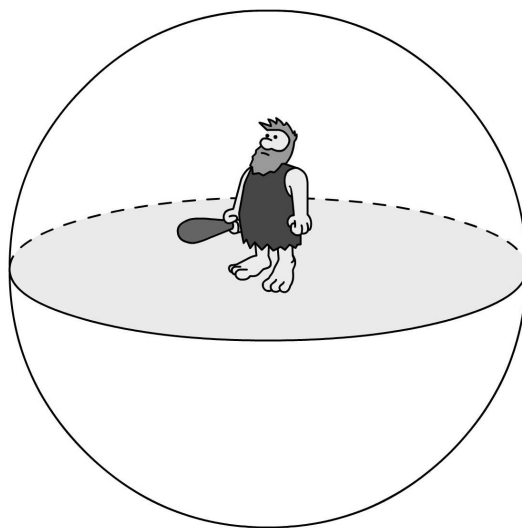


Figura 6.1: Hug-Bug, nosso homem antigo, continua parado na Esfera Celeste.

Podemos perceber, nessa representação, que há um círculo máximo, em cima do qual o homem parece estar, o círculo do HORIZONTE. Repare que, se consideramos a Terra esférica, ela tem que ser desprezivelmente pequena com relação à Esfera, para que o Hug-Bug sempre veja metade desta (do contrário, ele estaria muito mais perto de uma parte da Esfera Celeste, e o seu plano do horizonte não cortaria a Esfera em duas metades).

6.1 Primeiras Coordenadas

Chamamos de ALTURA de um astro no céu à sua distância com relação ao horizonte. Mas como estamos falando de pontos que parecem estar todos à mesma distância, grudados numa esfera, distâncias correspondem a ângulos. Assim, a altura do astro é o ângulo entre o horizonte e astro, com vértice no observador (veja figura logo abaixo).

Contudo, se o Hug-Bug, mais desenvolvido, se perguntasse como determinar a posição exata de um objeto no céu, ele perceberia que só a altura do objeto não seria suficiente. Para uma

mesma altura, existem vários pontos possíveis – pontos que formam um círculo no céu. A figura seguinte mostra o que foi dito agora¹.

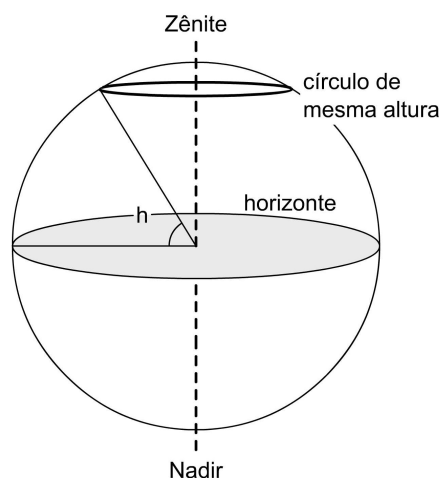


Figura 6.2: Altura, no Sistema Horizontal.

Falta mais uma coordenada para fixar apenas um ponto. Esta coordenada precisa diferenciar um ponto dentre os outros de uma mesma altura, assim ela deve ser contada paralela ao horizonte. Vamos chamá-la de AZIMUTE e ela será contada a partir de um ponto fixo no horizonte. Mas qual será esse ponto?

Para fixá-lo, podemos pegar o marco na esfera celeste chamado de MERIDIANO LOCAL². O meridiano local é o semi-círculo que liga o pólo celeste sul ao pólo celeste norte, passando pelo zênite do lugar. Em outras palavras: é o círculo vertical norte-sul.

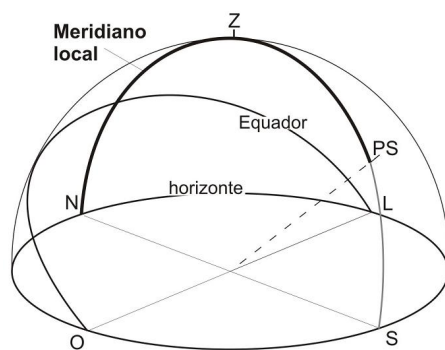


Figura 6.3: O Meridiano Local.

Ainda exploraremos mais a importância do Meridiano Local; por enquanto, basta destacar que ele é importante porque ele é a linha em que as estrelas alcançam suas maiores alturas, conforme se movimentam (veja as figuras do movimento diurno das estrelas).

O Meridiano Local interceptará o horizonte em apenas um ponto. Este ponto pode ser tomado como o nosso ponto de partida para a contagem do azimute. Mas para que lado? Definimos como crescente no sentido horário (como se estivéssemos observando de cima, a partir do zênite), assim,

¹Relembrando, o ponto exatamente acima da cabeça de Hug-Bug é chamado de ZÊNITE, e o ponto oposto, abaixo, é chamado NADIR.

²Análogos aos meridianos na Terra, os meridianos celestes são as linhas que ligam os pólos norte e sul celestes.

no hemisfério Sul, o mais comum é a contagem do azimute começar no ponto cardeal Norte (no sentido N-E-S-W). Já no hemisfério Norte, o ponto de início normalmente é o ponto cardeal Sul, e aqui o sentido é S-W-N-E.

Lembre-se: a definição do ponto de início e do sentido de contagem do azimute é bastante arbitrária; existem pessoas em ambos os hemisférios que contam de maneira diferente.

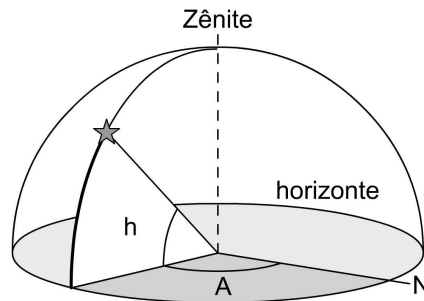


Figura 6.4: Sistema Horizontal. Repare na estrelinha, que tem altura h e azimute A . O N indica a direção norte, de onde começa a contagem do azimute. Repare também que o ângulo de altura é contado de 0 a 90° , enquanto o azimute é contado de 0 a 360° .

- 14- Quais os azimutes dos pontos cardiais norte, sul, leste e oeste? (Para os dois hemisférios)
- 15- Em que latitude as variações de azimute são mínimas? Em que latitude as variações de altura são mínimas?
- 16- Por que é cômodo medir os azimutes no sentido sul - oeste - norte - leste?

6.1.1 Estrutura Básica

Ao definir acima o Sistema Horizontal de Coordenadas (isto é, baseado no Horizonte), acabamos criando uma estrutura geral para sistemas de coordenadas celestes, que podemos usar para construir outros sistemas. Eles sempre têm um *círculo máximo* (no caso do sistema horizontal, o horizonte), dois *pólos* (no caso, o zênite e o nadir), um ponto do *círculo máximo*, para referência da medida da segunda coordenada (no caso, o ponto cardeal norte/sul, para a medida do azimute) e também o sentido em que esta segunda coordenada será contada (horário ou anti-horário). Isso pode ser visto na figura 6.5:

6.2 Equador e Polos

O Sistema Horizontal, apesar de ser muito útil na localização de objetos no céu de um observador, apresenta uma deficiência: é local. Ou seja, as coordenadas de um determinado objeto, para um observador, serão diferentes para outro observador (o céu, em um mesmo instante, é diferente para uma pessoa no Brasil e na China, por exemplo), ou mesmo para o mesmo observador em outro instante do dia (o céu também é diferente aqui às dez da noite e às duas da manhã, visto que ele gira). Precisamos tentar criar, então, um outro sistema que não sofra deste problema, ou seja, que mantenha as coordenadas do objeto para qualquer observador, em qualquer instante. Assim, pelo que vimos acima, o primeiro passo para um sistema ser universal é que seu círculo máximo (i) seja o mesmo para qualquer observador, e que (ii) ele não se mova

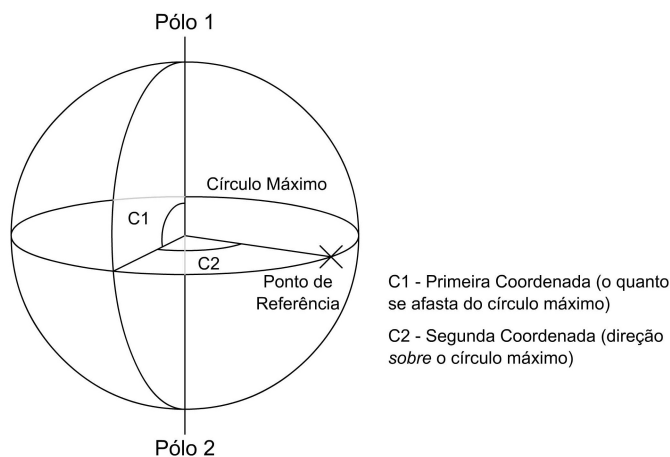


Figura 6.5: Esquema geral de um Sistema de Coordenadas Esféricas.

com o tempo. Para o segundo ponto, basta lembrarmos do movimento do céu, previamente discutido: girando como uma esfera sólida, com eixo definido pelos PÓLOS CELESTES.

Um eixo sempre define um círculo máximo perpendicular a ele³: o EQUADOR CELESTE. O equador é um círculo máximo que não se move com a rotação da Terra - na verdade, os astros se movem todos paralelos a ele. Ele é definido a partir de uma característica geral do sistema, e não de nenhum observador específico sobre a Terra. Assim, da mesma forma que utilizamos o *Horizonte* para definir o *Sistema Horizontal*, definiremos agora um *Sistema Equatorial* baseado no *Equador*.

Nesse novo sistema, a distância (em ângulos, sempre) de um astro ao Equador será chamada DECLINAÇÃO, indicada por δ (um delta minúsculo). Naturalmente, ela variará entre -90° e $+90^\circ$. Esta coordenada não depende de onde estamos na Terra, afinal o Equador Celeste é o mesmo para qualquer observador.

Ademais, tal como no Sistema Horizontal, precisamos de mais um ângulo, medido sobre o equador, para determinar onde o astro está. Contaremos o ângulo no Equador Celeste, a partir do ponto em que ele intercepta o meridiano local; e, como o azimuth, contaremos no sentido horário (vendo do hemisfério norte). Esta coordenada recebe o nome de ÂNGULO HORÁRIO e é representada por um H . Contado em horas, esse ângulo variará entre 0 e 24h, ou entre +12 e -12h.

17- Qual o ângulo horário do seu zênite? E qual seu azimuth?

18- Qual o ângulo horário do ponto cardinal leste? E do oeste?

19- O que acontece com o ângulo horário dos astros ao longo do dia? O que dizer de um astro no Equador com ângulo horário 18h? E de uma estrela qualquer com o mesmo ângulo horário?

³Por "círculo perpendicular" entendemos o círculo formado pelos pontos que estão à mesma distância angular de ambos os pólos.

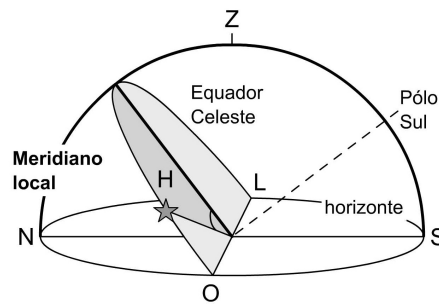


Figura 6.6: Sistema Equatorial Local. Z é o Zênite, N, o ponto cardinal Norte, e S o ponto cardinal Sul. O semicírculo que cobre a figura, com linha mais escura, é o Meridiano Local.

6.3 A Terra nas Coordenadas Esféricas

Mas o sistema ainda não é completamente universal, pois o Meridiano Local, como o próprio nome diz, é local, depende do observador. Diferentes longitudes na Terra definem diferentes meridianos locais. Temos um *Sistema Equatorial Local*, mas estamos em busca do *Sistema Equatorial Universal*. Para isso, precisamos escolher um ponto de origem que não dependa do local de observação, e que tenha o mesmo movimento dos outros astros, ou seja, que seja fixo em relação às estrelas. Basta escolher um ponto arbitrário então.

Mas nada é suficientemente arbitrário para seres humanos. Vocês já devem ter ouvido falar de um outro sistema de coordenadas, dessa vez sobre a superfície da Terra. Esse sistema é quase totalmente análogo ao Sistema Equatorial Local, da Esfera Celeste. Ele toma o *Equador Terrestre* como círculo máximo, e mede os ângulos contando os círculos paralelos ao Equador Terrestre e os círculos meridianos que ligam os *Pólos Terrestres* e cortam o Equador. O ângulo contado sobre o equador (ou sobre um paralelo) é a *LONGITUDE* e o ângulo contado sobre os meridianos, medindo a distância ao Equador, é a *LATITUDE*.

Para a contagem da longitude, cada país usava um meridiano diferente de referência (o Brasil provavelmente usaria o meridiano de Brasília, se isso acontecesse hoje). Mas durante o século XIX houve uma grande movimentação na Europa (e por consequência no resto do mundo, que na época era quase todo dominado econômica ou militarmente pelos europeus) para se criar sistemas universais de medida. Assim, um dos meridianos locais devia ser escolhido para ser aceito como padrão. Mesmo se tratando de uma escolha totalmente arbitrária, houve muita discussão sobre qual deveria ser esse meridiano. Pensava-se que, de alguma forma, o país cujo meridiano fosse escolhido teria, com isso, sua predominância cultural e política reforçada. No fim, a briga ficou entre o padrão francês (o meridiano que cruzava o *Observatório de Paris*, em Paris) e o inglês (meridiano que cortava o *Observatório de Greenwich*, em Londres). Os ingleses acabaram ganhando, e é por isso que ouvimos esse nome verde desde cedo no colégio, como referência universal de coordenadas terrestres.

Então podemos fazer isso: contar nossas coordenadas a partir do “Meridiano de Greenwich Celeste”, que é a projeção do Meridiano de Greenwich no céu. Poderíamos, mas isso seria bastante tosco. Em vez disso, o caminho do Sol no céu pode nos dar uma dica melhor.

6.4 O Sol nas Coordenadas Esféricas

Agora parece um bom momento para contar uma história que todo mundo sabe. Nossa concepção de universo não é mais a concepção clássica das Esferas. A esfera celeste foi explodida,

e as estrelas foram espalhadas nas mais diferentes distâncias. Numa troca de referenciais que mantém todas as aparências, a rotação da Esfera Celeste, de leste para oeste, foi substituída pela rotação da Esfera Terrestre no sentido oposto, de oeste para leste. O Sol, que se movimentava em torno da Terra, também foi parado e cedeu à Terra seu movimento. Assim, nosso planeta acumulou dois movimentos: uma ROTAÇÃO em torno do seu próprio eixo, substituindo o movimento diário da Esfera Celeste, e uma REVOLUÇÃO em torno do Sol, substituindo o movimento anual deste. Para mais detalhes sobre essa mudança de visão de mundo, leia a Unidade 1 do Volume III.

O sistema da Esfera é muito mais útil para visualizar tudo o que estamos discutindo, razão pela qual só tínhamos falado dele até agora. Mas o outro sistema, que acabamos de apresentar, é mais tido como “verdadeiro” por quase todas as pessoas; não poderíamos então prorrogar mais a apresentação dele. Daqui para a frente, então, tentaremos usar os dois sistemas simultaneamente, deixando ao leitor a possibilidade de escolher qual parece mais confortável.

Assim, como já vimos no capítulo 4, o Sol caminha em relação às estrelas ao fundo, descrevendo um círculo máximo chamado ECLÍPTICA, que cruza o Equador Celeste com uma inclinação de $23^{\circ}27'$. Essa inclinação entre os dois círculos, no modelo “novo”, é interpretada como uma inclinação entre o movimento de rotação e o de revolução da Terra. Nesse modelo, o plano da Eclíptica corresponde ao plano da órbita da Terra em torno do Sol; portanto, os $23^{\circ}27'$ (sendo mais precisos) são a inclinação entre o plano do Equador e o plano da órbita, ou entre o eixo de rotação e o eixo perpendicular à eclíptica.

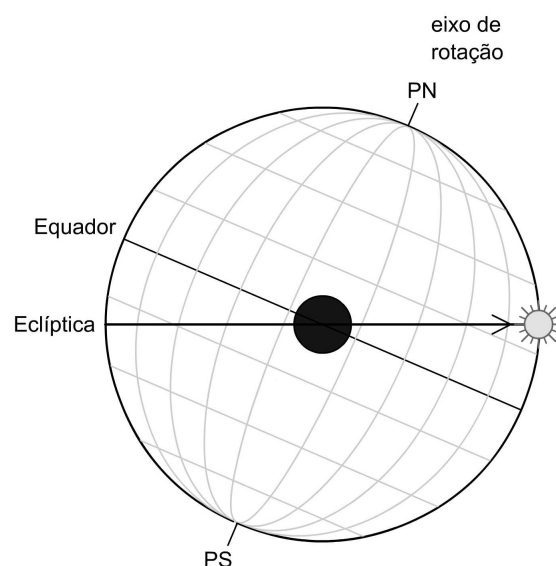


Figura 6.7: Equador e Eclíptica, visto de um referencial com a Terra parada.

Como dois círculos máximos, Eclíptica e Equador se cruzam em dois pontos, opostos em cada círculo. Um desses pontos é chamado PONTO VERNAL, e o outro não =). O Ponto Vernal é o ponto que o Sol ocupa no primeiro equinócio do ano, o de primavera do hemisfério Norte (*vernes* = primavera em latim); ou seja, é quando o Sol está passando do Hemisfério Sul para o Hemisfério Norte, definindo o início do nosso outono. É fácil perceber que os pontos em que os dois círculos se cruzam são os equinócios; afinal, são esses dias em que o Sol nasce exatamente a Leste, percorre o céu junto com o Equador Celeste e se põe exatamente a Oeste.

E quanto aos solstícios? São os pontos em que o Sol está a 90° de cada equinócio, na sua distância máxima do Equador. Com distância máxima, queremos dizer que os solstícios são os

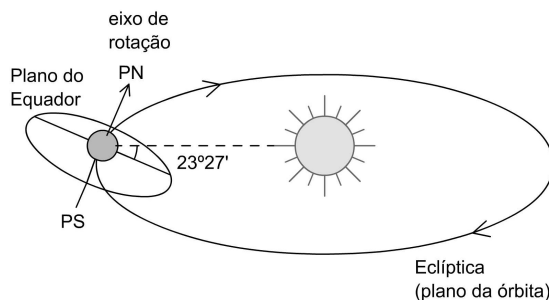


Figura 6.8: Equador e Eclíptica, visto de um referencial com o Sol parado.

dias em que o Sol atinge seus maiores valores de declinação: $23^{\circ}27'$.

Tendo dito isso, podemos nos perguntar quais são as latitudes na Terra nas quais o Sol passará exatamente pelo zênite, nos solstícios. Nesses dias o Sol nasce e se põe com declinação de $23^{\circ}27'$. Mas sabemos que a latitude de um lugar é igual à altura do pólo celeste nesse lugar, ou a distância zenital do ponto mais alto do Equador Celeste (onde o Equador cruza o Meridiano Local). Vamos lá, é importante visualizar tudo isso. Num lugar cuja latitude seja 50° , o Equador cruzará o Meridiano Local com uma altura de $90 - 50 = 40^{\circ}$; Nesse lugar, a altura máxima que o Sol atingirá (isto é, quando ele cruza o Meridiano) será:

- nos equinócios, 40°
- no solstício de verão, $40^{\circ} + 23^{\circ}27' = 63^{\circ}27'$
- no solstício de inverno, $40^{\circ} - 23^{\circ}27' = 16^{\circ}33'$

Queremos os lugares em que, no solstício de verão, o Sol passe pelo zênite, isto é, tenha altura 90° . Para isto, basta que, no equinócio, o Sol passe a $23^{\circ}27'$ de distância zenital. Ou seja, basta que a altura do ponto mais alto do Equador Celeste seja $90^{\circ} - 23^{\circ}27' = 66^{\circ}33'$. Ou seja, basta que a latitude seja também $23^{\circ}27'$! Essa latitude e esse fenômeno é o que definem os CÍRCULOS DOS TRÓPICOS.

São dois, um em cada hemisfério: TRÓPICO DE CÂNCER no Hemisfério Norte e TRÓPICO DE CAPRICÓRNIO no Hemisfério Sul. O segundo passa um pouco ao norte da cidade de São Paulo. Os nomes dos trópicos foram dados a partir das constelações em que o Sol estava durante os solstícios, na época em que os trópicos foram batizados, a Grécia Clássica. Hoje as constelações ocupadas pelo Sol nos solstícios já são outras. Assim, o Ponto Vernal (ou Ponto de Áries) não está mais em Áries, mas na divisa entre Peixes e Aquário.

FIGURA!

Por outro lado, existem também duas latitudes em que, no solstício de inverno para aquele hemisfério, o Sol estará no horizonte ao meio-dia (se você estiver nesta latitude norte verá o Sol no Ponto Cardeal Sul; se estiver nesta latitude sul, verá o Sol no Ponto Cardeal Norte); no resto do dia deste solstício, o Sol se encontrará abaixo do horizonte. Simetricamente, no solstício de verão para estes mesmos lugares, o Sol passará as 24 horas do dia acima do horizonte, atingindo-o apenas à meia-noite⁴. Para isso acontecer, basta que a distância máxima entre Equador e Horizonte (isto é, a altura) seja $23^{\circ}27'$; com isso, o Sol não nasce em um solstício e não se põe no

⁴este é o fenômeno famosamente conhecido como *Sol da Meia-Noite*; sua observação é bastante popular (e turística) nos países que são cortados por um dos círculos polares, principalmente no círculo boreal: Noruega, Suécia, Finlândia, Rússia, Canadá... Cuidado com o que o nome pode sugerir: o fenômeno não diz respeito ao Sol estar simplesmente

outro. Essas latitudes são, portanto, $90^\circ - 23^\circ 27' = 66^\circ 33'$. Elas definem os CÍRCULOS POLARES, que também são dois: CÍRCULO POLAR ÁRTICO no Hemisfério Norte e CÍRCULO POLAR ANTÁRTICO no Hemisfério Sul.

- 20- Para uma cidade sobre o Círculo Polar Antártico, qual a altura máxima que o Sol atinge no solstício de verão? E a altura mínima?
- 21- Qual é a altura máxima h_{max} atingido pelo Sol onde a latitude vale ϕ num dia em que o Sol tem declinação δ ? E a altura mínima h_{min} ?
- 22- Qual a máxima latitude para $h_{max} = 90^\circ$ ao menos num dia no ano? E a mínima latitude onde $h_{min} < 0^\circ$?

Os quatro círculos de latitude que definimos acima marcam três regiões climáticas do nosso planeta:

- *Região Tropical*: Entre os dois trópicos;
- *Região Temperada*: Entre os trópicos e seus respectivos círculos polares;
- *Região Polar*: Entre os círculos polares e seus respectivos pólos.

Nesta última região, acontecem dois fenômenos interessantes:

- (a) Em pelo menos um dia do ano o Sol não nasce (24 horas de noite);
- (b) Em pelo menos um dia do ano o Sol não se põe (24 horas de dia claro).

O número de dias em que o Sol não nasce/põe-se depende da proximidade dos pólos. Quanto mais próximo aos pólos maior será este número de dias. Nos pólos, o caso extremo, o Sol passa 6 meses acima do horizonte e 6 meses abaixo dele.

- 23- Explique as estações do ano.
- 24- O que ocorreria com os trópicos e círculos polares, e com as regiões definidas por eles, se a inclinação da eclíptica fosse 45° ? E se fosse 60° ?

6.5 Sistema Universal

Vamos voltar ao tema inicial: que ponto de origem devemos escolher para que nossas coordenadas equatoriais se tornem universais? A resposta que podemos extrair do Sol é: basta escolher um ponto da trajetória do Sol, que é o mesmo para todos os observadores. Vamos escolher, então, o ponto vernal. Nosso ângulo será contado, desta vez, de oeste para leste, de forma que o ângulo do Sol aumente ao longo do ano. O ângulo será batizado de ASCENSÃO RETA, indicado por α , um alfa minúsculo; ou por AR. Por ser contado no mesmo plano do ângulo horário, a ascensão reta também é contada em horas, variando entre 0 e 24h. Em algumas ocasiões, entretanto, é possível ver a ascensão reta contada entre 0 e 360° .

Com ascensão reta e declinação, definimos finalmente nosso SISTEMA EQUATORIAL UNIVERSAL. Segue abaixo uma figura do sistema:

acima do horizonte (isso é bem mais comum e acontece alguns dias por ano em todos os locais acima do círculo polar), mas a algo mais específico: ao dia em que o Sol desce para se pôr e, exatamente à meia-noite, toca o horizonte e então volta a subir.

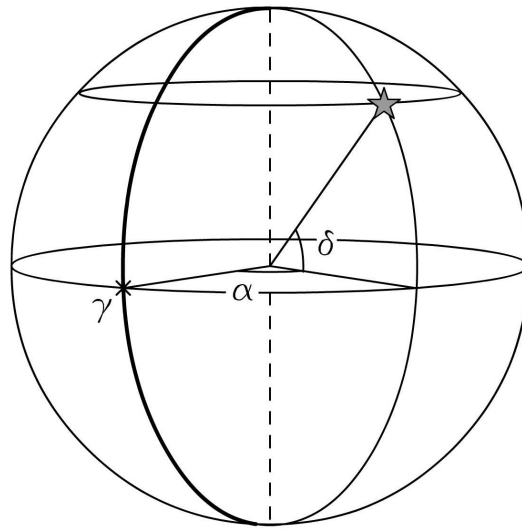


Figura 6.9: Sistema Equatorial Universal.

O Sistema Equatorial Universal é muito útil para a localização de algum objeto para um observador aqui da Terra. É por isso que ele é utilizado em quase todos os catálogos de estrelas, nebulosas, planetas, satélites artificiais ou qualquer outra coisa - afinal, as coordenadas universais (α, δ) de um objeto valem para qualquer observador da Terra, que esteja observando em qualquer horário. O Catálogo Messier, por exemplo, nos apêndices deste Volume, trazem ascensão reta e declinação das nebulosas.

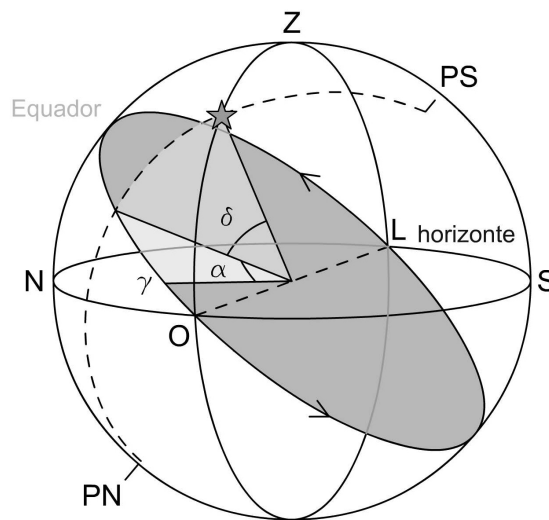


Figura 6.10: Sistema Equatorial visto por um observador. Para sabermos a posição no céu em que nós veremos de fato uma estrela, basta converter sua ascensão reta e declinação em altura e azimute para nossa posição.

Para identificar coordenadas universais de objetos, ajuda conhecer as coordenadas de algumas estrelas conhecidas. Em particular, há alguns alinhamentos de estrelas que seguem as linhas de

declinação. Elas são bastante úteis para se identificar faixas de ascensão reta. Veja na tabela ??:

	LINHA	α	FAIXA DE δ
	γ Cass	1h	60°
	Menkar (α Cet) - λ Cet	3h	$4^\circ - 8^\circ$
	η Aur - ι Aur	5h	$40^\circ - 33^\circ$
	Menkalinan (β Aur) - θ Aur - Betelgeuse (α Ori)	6h	$45^\circ - 37^\circ - 7^\circ$
	Merak (β UMa) - Dubhe (α UMa)	11h	$56^\circ - 62^\circ$
	Hadar (β Cen) - ζ Cen	14h	$-60^\circ - -47^\circ$
	Kocab (β UMi)	15h	74°
	π Sco - Dschubba (δ Sco)	16h	$-26^\circ - -22^\circ$
	$\zeta 2 - \mu 2 - \epsilon$ Sco	17h	$-42^\circ - -34^\circ$
	Nunki (σ Sgr) - Ascella (ζ Sgr) - Corona Australis	19h	$-26^\circ - -30^\circ - -40^\circ$
	Markab (α Peg) - Sheat (β Peg)	23h	$15^\circ - 28^\circ$

Falando em outras palavras: no Norte, Kocab da Ursa Menor marca a linha de 15h, enquanto a estrela central do W da Cassiopeia fica sobre a 1h. A borda da frente da Panela Maior faz 11h, enquanto a ponta de seu cabo vai até as 14h. Achernar, na parte a leste da Capella, marca a linha de 5h, enquanto a parte a oeste segue as 6h até Betelgeuse. O Quadrado de Pegasus, por sua vez, marca as linhas de 23 e de 0h. No Sul, Hadar e outras do centauro marcam o meridiano de 14h; as patas cortadas do escorpião marcam os 16h, enquanto seu corpo, na parte de inclinação Norte-Sul, marca os 17h. A diagonal do segundo trapézio do Sagitário faz as 19h, linha que corta também a Coroa Austral.

O Sistema Equatorial é cômodo para nós e as estrelas; mas existem outros sistemas universais que podem ser mais cômodos para problemas específicos. Para acompanhar, por exemplo, os movimentos de planetas e asteróides do Sistema Solar, seria mais interessante medir os ângulos a partir do círculo máximo da Eclíptica. Ele se chamaria, logicamente, SISTEMA DE COORDENADAS ECLÍPTICO, e seria útil também para a navegação de sondas pelo Sistema Solar. Por outro lado, se quisermos estudar as posições de objetos na nossa Galáxia, ou navegar por ela (quando isso for possível), seria melhor usar, como círculo máximo, o plano da Via Láctea - um SISTEMA DE COORDENADAS GALÁCTICO. Esses dois sistemas, e outros que poderíamos criar, seriam estabelecidos da mesma forma que os outros, com dois ângulos, pólos e tudo o mais, como na tabela comparativa abaixo.⁵

SISTEMA	Equatorial	Eclíptico	Galáctico
CÍRCULO MÁXIMO	Equador	Eclíptica	Plano da Via Láctea
PÓLOS	Pólo Norte/Sul	Pólo Norte/Sul Eclíptico	Pólo Norte/Sul Galáctico
PONTO DE ORIGEM	Ponto Vernal	Ponto Vernal	Direção do Centro Galáctico
LATITUDE	Declinação	Latitude Eclíptica	Latitude Galáctica
LONGITUDE	Ascensão Reta	Longitude Eclíptica	Longitude Galáctica
SENTIDO DA LONGITUDE	Anti-horário	Anti-horário	Anti-horário

Pode parecer estranho, mas o primeiro sistema de coordenadas adotado no Ocidente era um sistema de coordenadas eclípticas (bem mais simples que o atual, é claro), dos gregos. Já falamos

⁵Os Pólos Norte Eclíptico e Galáctico são definidos como os Pólos que estejam no Hemisfério Norte do céu.

desse sistema na Unidade 1: o sistema das Casas Zodiacais. A eclíptica foi dividida em 12 casas de mesmo tamanho (30° de longitude eclíptica), cada uma associada à constelação que estava mais ou menos na região daquela casa. Assim havia a casa de Áries, a de Leão, de Touro, etc. Este sistema grego era (ainda é) usado para descrever basicamente o movimento do Sol, da Lua e dos cinco planetas⁶, e era muito eficiente nisso (como todos estes corpos caminham sobre o zodíaco, o sistema não precisava da segunda coordenada, algo que seria equivalente de latitude eclíptica). Além disso, como é também o caminho do Sol ao longo do ano, o sistema podia ser usado diretamente para contagem do tempo, com função de calendário.

Na mesma época dos gregos, contudo, os chineses já tinham um sistema de coordenadas equatorial. Eles determinavam a posição sobre o equador, também de acordo com casas - que depois foram substituídas, dividindo-se um círculo em 365 graus - algo muito prático para astronomia; em particular, muito mais prático que nossa divisão em 360 graus⁷ - e determinavam também a distância zenital. É que, para os chineses, o céu era uma imagem do governo na Terra: a Estrela Polar, em torno da qual todas as outras giram, era a imagem do imperador, e os outros astros iam se sucedendo em importância, conforme sua distância ao pólo. O sistema horizontal só foi introduzido na Europa no final da Idade Média, ajudado em boa parte pela invenção do telescópio (os telescópios precisam se mover paralelos ao Equador para acompanhar o movimento das estrelas⁸).

Exercícios

Os temas relacionados a coordenadas e ângulos esféricos têm uma particularidade: sua compreensão depende muito de uma boa visão espacial. Se você não tem uma, pode desenvolvê-la. Mas para isso, ler e entender conceitos é altamente insuficiente. O que você precisa é imaginar e tentar visualizar várias configurações diferentes do céu, seus movimentos e correlações. Em outras palavras, você precisa exercitar sua mente. E não pense em fazer isso na véspera de provas, porque não vai funcionar. Criar novos modos de perceber as coisas leva tempo e exige esforço continuado. Por isso, em cada capítulo desta unidade, separamos uma seção com alguns dos exercícios mais interessantes que temos. Divirta-se ☺

Coordenadas

- 25- Descreva, ilustrando com desenhos, como é o movimento aparente dos astros na esfera celeste causado pela rotação da Terra em diferentes latitudes:
- (a) No Equador
 - (b) No Trópico de Capricórnio (latitude $-23,5^\circ$)
 - (c) No Trópico de Câncer (latitude $23,5^\circ$)
 - (d) No Pólo Sul
 - (e) No Pólo Norte
- 26- O que se pode dizer sobre a relação entre a latitude de um lugar e a altura do pólo neste lugar?
- 27- Qual é a latitude em que todas as estrelas são visíveis ao menos uma vez por ano?

⁶Só cinco planetas eram conhecidos na época, porque só cinco planetas são visíveis a olho nu. Quais eram eles?

⁷Claro que dividir o círculo em 360° não foi algo despropositado; o sistema de numeração babilônico era de base 60, o que é muito bom do ponto de vista aritmético, já que $60 = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5$ (ou seja, a base de numeração é divisível por 2, por 3, por 4, por 5, por 6, por 10, etc.). Por isso, suas quantidades eram todas múltiplas de 60 (como $360 = 60 \cdot 6$).

⁸Veja mais detalhes no Volume 3 - Medidas.

- 28- De onde vemos mais estrelas diferentes: do Equador ou do Pólo?
- 29- Qual a condição para que uma estrela seja circumpolar, para um determinado observador?
- 30- Expresse, em graus, o ângulo entre os meridianos de duas estrelas, uma das quais culminou (entenda-se culminação superior) às 5h12min, e a outra, às 5h32min⁹.
- 31- Em que latitude os ângulos horários variam de forma mais rápida?
- 32- Normalmente, em um lugar plano, a linha onde o céu encontra a terra ou o mar está a 90° do zênite. No entanto, ao subir em algum lugar mais alto, isso pode não ser mais verdade. Qual seria essa distância angular para uma pessoa no topo de uma montanha de 3000m, ao olhar para o mar?
- 33- Indique quais os pontos da esfera celeste para as quais a latitude equivale à declinação.
- 34- Estime a porcentagem do céu invisível nos trópicos e nos círculos polares.
- 35- Para uma latitude ϕ , qual a altura mínima h acima da superfície da Terra para que todas as estrelas sejam visíveis? Calcule essa altura para $\phi = 0^\circ$, $23^\circ 27'$ e 90° .
- 36- Qual é a altura máxima (e mínima) de uma estrela de declinação δ onde a latitude é ϕ ?
- 37- Como pode-se determinar a latitude de um local observando as culminações superior e inferior de uma estrela circumpolar?
- 38- Um viajante perdido viu α Crucis circumpolar culminando superiormente a $55^\circ 50'$ e inferiormente a $2^\circ 10'$. Qual a sua latitude? Qual a declinação de α Crucis?
- 39- Qual o problema prático da abordagem do exercício anterior?

Sol: Sombras

- 40- Qual a distância zenital do Sol para que o comprimento da sombra de um objeto seja igual à sua altura?
- 41- Constrói-se uma torre vertical de 50m de altura sobre o Pólo Sul da Terra. Se o Sol estiver no solstício de verão do hemisfério sul, ao meio-dia, qual será o tamanho da sombra projetada pela torre, iluminada pelo Sol?
- 42- Suponha que neste dia seja Lua Cheia. Qual será o tamanho da sombra produzida pela luz da Lua?
- 43- Qual deveria ser a distância zenital do Sol para que o comprimento da sombra da Torre fosse igual à sua altura? Em que latitudes isso acontece?
- 44- Agora suponha que a torre foi, na verdade, construída em Criciúma, cuja latitude é $28^\circ 40'$ S. Qual será então o tamanho da sombra, também ao meio-dia do solstício de verão do hemisfério sul?
- 45- A que horas do dia a sombra terá metade do tamanho calculado na pergunta anterior?
- 46- A que altura estará o Sol quando a sombra tiver o dobro do tamanho calculado duas perguntas atrás?

⁹Considere, por enquanto, o tempo solar aproximadamente igual ao tempo sideral. Se você ainda não conhece esses conceitos, ignore essa observação e faça a questão como se nada tivesse acontecido

Sol: Eclíptica

- 47- **[IAO 99]** Onde (no planeta Terra) e quando é possível observar o nascer do sol de mais longa duração?
- 48- Quais as ascensões retas e declinações do Sol nos equinócios? E nos solstícios?
- 49- Qual a ascensão reta e a declinação do pólo Norte da Eclíptica?
- 50- Qual o ângulo entre o Equador e o Horizonte (nos pontos Leste e Oeste) para um observador que se encontra a uma latitude de 40° ? E em uma latitude de -30° ?
- 51- Qual a declinação do Zênite a uma latitude de 42° ?
- 52- Quais são os ângulos máximo e mínimo entre a Eclíptica e o Horizonte de Moscou? (latitude de Moscou: $55^\circ 45'$)
- 53- Que ângulo forma a Eclíptica com o horizonte no momento do nascer do ponto vernal, na latitude de -55° ? E no momento em que o mesmo se põe? O mesmo para a latitude de $+66,5^\circ$.
- 54- Em que lugares da Terra a Eclíptica pode coincidir com o horizonte? Quando isso ocorre?
- 55- Um pesquisador vê todos os dias o Sol nascer com a mesma hora sideral. Onde e em que época ele está?
- 56- Uma estrela de declinação $\delta = 50^\circ$ pode estar na faixa do zodíaco? *OBS.:* O zodíaco pode ser considerado uma faixa de 16° no céu, centrada na eclíptica.
- 57- Uma estrela que nasce exatamente no leste para todos os pontos na superfície da Terra fica em conjunção com o Sol no solstício de verão do hemisfério sul. Quais as coordenadas eclípticas e equatoriais dela, e qual a distância angular entre a estrela e o centro do Sol? *OBS.:* Dois astros ficam em conjunção quando a longitude eclíptica dos dois é a mesma.

Capítulo 7

Tempo Esférico

Medir o tempo sempre foi um dos principais objetivos dos estudos dos astros, nas mais diferentes culturas. Isto é bastante natural; poucas coisas dão uma impressão tão forte de passagem do tempo quanto o movimento dos astros. Todos os dias nos é oferecido o dia claro, que vai clareando e esquentando, e depois escurecendo, até sermos deixados novamente na escuridão. Ficamos com tanto medo que dormimos, até acordar novamente no próximo dia claro.

E esse é só o ciclo mais óbvio. Com o tempo, aprendemos a associar quase todos os ciclos da natureza aos ciclos astronômicos: desde o ritmo das flores, dos frutos, das plantas em geral; da hibernação dos ursos, da mudança de pele das cobras, até enfim os das chuvas, da cheia dos rios, da época dos peixes, da subida do nível do mar... Para todos os fins práticos (caçar, colher, plantar, pescar, encontrar remédios, saber onde construir sua casa) é importante conhecer a duração dos ciclos da natureza – ou, de forma mais específica, a duração dos ciclos dos astros.

Claro, diferentes povos de todo o mundo se organizam de maneiras diferentes, possuem mitologias próprias, culturas próprias, e, portanto, maneiras próprias de medir o tempo. Mas, de uma cultura ou de outra, todos os povos estão sob o mesmo Sol, vivendo no mesmo planeta, submetidos aos mesmos ciclos.

Além do dia/noite, são dois ciclos fundamentais. O primeiro é o do *Sol*. Não, não aquele diário, da Esfera inteira, mas o do Sol contra a esfera, do que já falamos. É o que chamamos, mais ou menos vulgarmente, de ANO. Em diferentes partes da Terra, esse ciclo passa de diferentes formas – e, portanto, foi medido de diferentes formas. Para latitudes altas, por exemplo, a altura em que o Sol está, e o tempo de duração do dia claro, variam bastante ao longo do ano. Assim, alguns povos do norte da Europa se preocupavam especificamente com quando chegaria o solstício de verão ou de inverno, e mediam a passagem do ano principalmente medindo tamanhos e direções de sombras. Muitas vezes, inclusive, construíam grandes monumentos de pedra com fins rituais e de marcação de passagem do tempo – os famosos *stonehenges*. Por outro lado, mais perto do Equador, não há grandes diferenças na duração do dia entre um solstício e outro, embora o ciclo como um todo fosse igualmente importante. Os povos mediterrâneos, de uma forma geral, mediam o tempo observando as estrelas no fundo do céu, que passavam atrás do Sol ao longo do ano; que estrelas apareciam no horizonte no nascer e no pôr-do-sol, em cada época. A primeira vez no ano em que uma estrela ou asterismo nascia junto com o Sol é o que chamamos de NASCER HELÍACO da estrela ou constelação. Como já vimos, foi desse sistema de contagem de tempo que derivou o primeiro sistema de coordenadas, o zodíaco grego. De toda forma, quase todas as culturas têm festas tradicionais associadas aos equinócios e aos solstícios, festas que quase sempre marcam a passagem do ano, o fim de um ciclo solar e o início de outro.

Hoje conseguimos medir com grande precisão os momentos astronômicos correspondentes ao solstício e ao equinócio; esse intervalo entre um equinócio e outro equinócio igual é o que chamamos de ANO TRÓPICO. As nossas medidas mais precisas dão um valor 365,242190402 dias

solares médios. Mas aí você pergunta: qual a importância de medir isso com tanta precisão?! Não é suficiente saber o dia em que vai cair o equinócio e pronto? Não para grandes períodos. O problema é que uma hora de desvio entre um equinócio e outro vira uma semana depois de 170 anos! Essa questão vai ficar mais clara quando tratarmos da reforma gregoriana.

O segundo ciclo fundamental é o da *Lua*. O ciclo da Lua é ainda mais visível que o do Sol, pois aparece esculpido no próprio corpo daquela. Enquanto vai passeando através da Esfera Celeste, a Lua vai mudando sua forma, desde uma bola incandescente, a irmã branca e suave do Sol, até fatias bem pequenas iluminadas, e um círculo negro. Em diversas culturas, a Lua é simbolizada pela figura da serpente que, como o astro, muda periodicamente de pele, e renasce de dentro da pele velha. Muitas vezes pode ser simbolizada também pelo urso que, como a Lua, também desaparece da vista em certos períodos. Mas existem algumas sutilezas sobre como medir os ciclos da Lua, que nos ajudarão a compreender melhor alguns aspectos da Esfera. Vamos explorá-los.

7.1 Dias

Existem pelo menos duas maneiras de medir a passagem do dia: observando o ciclo do Sol (o que vamos chamar de DIA SOLAR) ou observando o ciclo das estrelas (que vamos chamar de DIA SIDERAL¹). Existe uma diferença entre as duas formas, que tem a ver com o movimento do Sol na Eclíptica. Cada dia, o Sol tem um ligeiro atraso em relação às estrelas; depois de um ano, o Sol completa essa volta. Em outras palavras, o Sol demora um pouco mais que as outras estrelas para completar sua volta diária. Quando somarem-se dias suficientes, as estrelas terão completado uma volta inteira a mais que o Sol, e terá se passado um ano.

O dia solar é certamente mais usado no nosso cotidiano; tirando as mudanças pelas estações do ano, o Sol está mais ou menos na mesma altura sempre que vamos e voltamos da escola, ou almoçamos, ou assistimos à Sessão da Tarde. Mas o dia sideral também é importante; na interpretação corrente do sistema de mundo, ele corresponde ao período de rotação da Terra (a combinação da rotação com a revolução é que faz o dia solar ser um pouco maior). Além disso, os astrônomos usam o tempo sideral, sempre que usam ângulos horários.

7.1.1 Tempo Sideral

De fato, o ângulo horário funciona como os ângulos percorridos pelos ponteiros de um relógio, com a diferença que esses ponteiros são muito brilhantes e feitos de...do material que são feitas as estrelas. Veja: quando uma estrela está sobre o meridiano local, seu ângulo horário (medido em horas) é 0h. Este momento é quando a estrela está mais alta (não mais bêbada) no céu; chamamo-lo de CULMINAÇÃO SUPERIOR. Depois de mais ou menos uma hora, seu ângulo horário será de 1h. Depois 2, 3, 4h, até ele se pôr. Se for uma estrela sobre o Equador Celeste, ela vai se pôr quando seu ângulo horário for de 6h. Se for uma estrela circumpolar, ela não irá se por e poderemos vê-la no ponto mais baixo de sua trajetória, sua CULMINAÇÃO INFERIOR, com $h = 12h$. Voltando à estrela do Equador, ela nascerá novamente com $h = 18h$ e, finalmente, voltará a culminar em 0h. Esse tempo entre uma culminação e outra, igual para todas as estrelas, é justamente o dia sideral.

Mas aí temos o mesmo problema que vimos com os sistemas de coordenadas, medindo o tempo por estrelas diferentes, pessoas mediriam instantes diferentes. Assim, temos a hora de Sirius, de Vega, de Aldebaran... E se quisermos um tempo sideral universal? Então escolhemos qualquer estrela como padrão. Mas para evitar confrontos geopolíticos entre as estrelas, vamos escolher novamente o ponto vernal. Assim, definimos: o TEMPO SIDERAL (TS) em um determinado instante é o ângulo horário do Ponto Vernal naquele instante.

¹Em latim, estrela é *sidereus*.

Converter o tempo sidereal universal para os tempos de cada estrela também é fácil - desde que saibamos a ascensão reta da estrela. A razão é que a ascensão reta é justamente a distância entre a estrela e o ponto vernal. Podemos até escrever isso com uma fórmula: $TS = H + \alpha$. A figura abaixo ilustra ainda melhor.

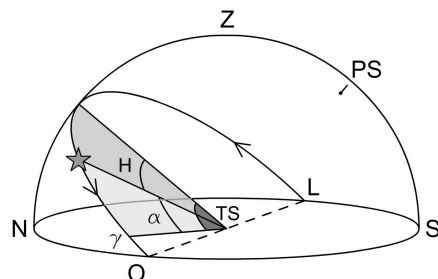


Figura 7.1: Ascensão reta, ângulo horário de uma estrela e o tempo sidereal.

7.1.2 de Sideral a Solar

Se quisermos medir o tempo com as estrelas, precisamos tomar um cuidado: as horas que medimos com o ponto vernal não são as horas que medimos com nosso relógio, baseado no Sol. Lembre-se: o dia solar e o dia sidereal têm durações diferentes; cada um deles pode ser dividido em 24 horas, cada hora em 60 minutos, e assim por diante, de forma que temos, por um lado, a HORA SIDERAL, MINUTO SIDERAL, etc. e por outro a HORA SOLAR, o MINUTO SOLAR, etc.

Mas em quanto é maior o dia solar? Basta sabermos que o Sol completa seu ciclo de atraso em aproximadamente 365 dias. Assim, a cada dia, ele atrasa

$$\frac{360^\circ}{365 \text{ dias}} \approx 1^\circ$$

Aproximadamente um grau, que é $\frac{1}{15}$ de hora, ou 4 minutos. Vamos falar de horas e minutos solares, que são mais familiares para nós. Então, se uma estrela culminou hoje junto com o Sol, amanhã ela culminará 4 minutos antes, segundo nosso relógio. Isso quer dizer o seguinte: o dia solar tem 24 horas solares, o dia sidereal tem 24 horas siderais. Mas 24 horas solares são 4 minutos solares mais longas que 24 horas siderais; isto é, 24 horas siderais são 23 h 56 m solares. Esse é o valor que aprendemos na escola para o tempo que dura uma rotação da Terra em torno de si mesma =)

58- Qual é maior: o minuto solar ou o minuto sidereal? Quanto um é maior que o outro?

59- Quantas horas siderais dura um dia solar?

60- Quanto duraria o dia solar se a Terra não girasse ao redor do seu eixo? E se ela girasse ao contrário, de forma que o dia sidereal tivesse a mesma duração?

Com a passagem do tempo solar é a mesma coisa, com a diferença de as horas solares serem ligeiramente mais longas (são, contudo, as horas que nossos relógios marcam).

7.1.3 de Solar a Civil

Mas isso ainda não resolve todos os nossos problemas. Precisamos ainda fazer algumas mudanças na hora solar para que ela corresponda exatamente a hora do nosso relógio.

A primeira, mais simples, é atrasar o relógio em 12 horas, ou seja, passar a contar o tempo solar a partir da culminação inferior, não da superior. A razão para isso é a comodidade: seria muito incômodo que o dia terminasse e recomeçasse justamente ao meio-dia, no meio de nossas atividades. Mudando o ponto de 0h para a meia-noite (e o ponto de 12h para o meio-dia), só os que insistem em passar as madrugadas acordados são afetados pela mudança do dia.

A segunda envolve o fato de que o dia solar não tem exatamente a mesma duração todos os dias. Isso tem a ver com a órbita da Terra ser elíptica, mas tem a ver também com a velocidade do Sol ser constante sobre a Eclíptica, não sobre o Equador (que é o círculo do movimento diário). Esse assunto é melhor discutido no capítulo de Analemas; por enquanto, vamos adiantar uma solução prática: definimos um *Sol Médio*, que completa uma volta em um *Dia Solar Médio*. e, com isso, temos novamente um tempo solar homogêneo. Estávamos, implicitamente, fazendo isso na seção anterior.

O terceiro problema é o problema dos viajantes. Lembremos que o ângulo horário é uma coordenada de um sistema de coordenadas local; pessoas em longitudes diferentes medem ângulos horários diferentes. Assim, se viajássemos do Rio de Janeiro para Manaus, teríamos que atrasar nossos relógios em 1 hora e 7 minutos. Do Rio para São Paulo, seriam 14 minutos. E mesmo dentro de São Paulo, do Tietê à USP haveria 26 segundos de diferença na medição de tempo! A vida seria um inferno! Pra evitar essas complicações, homens sábios instituíram os FUSOS HORÁRIOS. Funciona assim: a Terra (e o céu) ficam divididos em 24 setores, chamados de fusos; os lugares dentro de cada fuso ficam todos com o mesmo horário, e quando se passa de um setor para outro, basta adiantar ou atrasar o relógio em uma hora exata. Assim, do Rio para São Paulo, Porto Alegre, Belo Horizonte ou Recife, não precisamos mexer no relógio; para Manaus, que está a mais de 30 graus de latitude, atrasamos 1 hora completa. Em contraposição à *hora astronômica verdadeira*, marcada pelo ângulo horário do Sol Médio, nosso relógio mede a HORA CIVIL, que é a *hora verdadeira do meridiano central do fuso* em que estamos.

Na prática, contudo, não funciona bem assim. É comum certas regiões que deveriam ser de um fuso mudarem para o fuso de outra cidade com a qual mantêm fortes relações. No Brasil mesmo acontece isso: se adotássemos rigorosamente as faixas de fuso, Teresina e Fortaleza ficariam em fusos diferentes, apesar de serem cidades próximas e com muita relação. Assim, a ponta do Nordeste foi incluída no mesmo fuso de Brasília e também do Nordeste, do Sul e da Argentina. A China adota uma política ainda mais radical: todo o território chinês, independente da sua localização, adota o fuso horário de Beijing. O mesmo é feito na União Européia, com o fuso da Europa Central. Segue um mapa com as faixas de fuso horário no mundo, como elas são na prática.

- 61- Considerando todas as aproximações feitas, qual a máxima diferença que pode ser alcançada entre o ângulo horário do Sol verdadeiro e a hora civil?
- 62- Sua cidade provavelmente se encontra dentro do fuso do litoral brasileiro, o UT -3 (UT é o *Universal Time*, hora de Greenwich). Com auxílio de um mapa, estime a diferença entre a hora legal e a verdadeira na sua cidade.
- 63- O viajante do exercício 38, querendo determinar também sua longitude, mediu o horário da culminação superior de α Crucis no dia 21 de março, em seu relógio que marca o tempo de *Greenwich*, e encontrou $21\text{ h }39 \pm 5\text{ min}$. Sabendo que a ascensão reta de α Crucis vale $12\text{h}27\text{min}$, qual sua longitude?

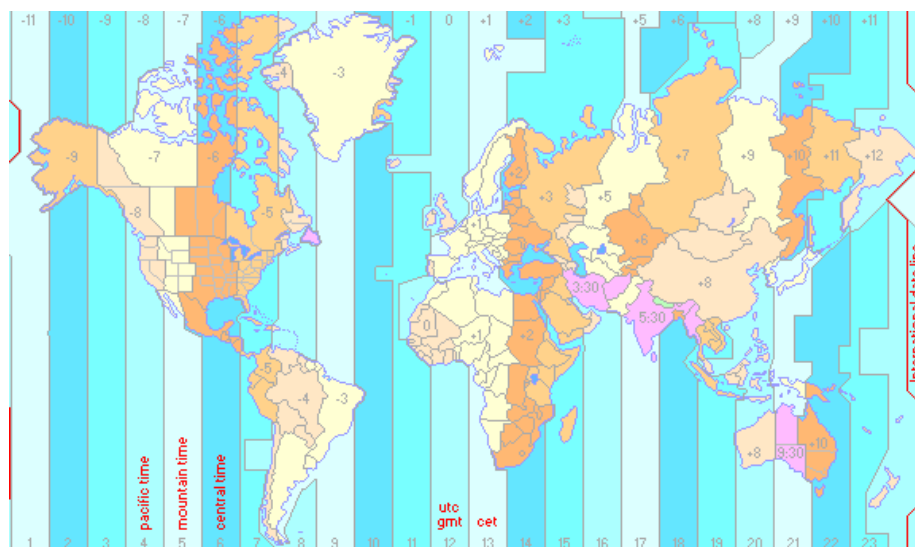


Figura 7.2: Mapa mundial de fusos horários.

7.2 Meses

Uma revolução lunar (em torno da Terra) demora cerca de um mês para ser completada - porque o mês é definido a partir da revolução dela, duh! Durante esse movimento, notamos que a aparência da Lua vai mudando no céu (são as fases da Lua, citadas no penúltimo capítulo). Existem vários jeitos de medir o período desse movimento.

Podemos, por exemplo, medir o tempo entre duas fases iguais consecutivas (duas luas cheias, ou duas luas novas, por exemplo). É o que chamamos de **MÊS SINÓDICO**. Essa medida dá um valor de cerca de 29,5 dias. Nas tradições árabe e hebraica, um mês começa quando o primeiro filete de luz lunar aparece (logo após a lua nova). Assim, é natural que eles tenham meses de 29 ou 30 dias, como é também o nosso caso.

Por outro lado, há outra maneira igualmente simples e importante de medir um ciclo lunar: contando o tempo entre duas passagens consecutivas da Lua em uma mesma região da Esfera Celeste (na frente de uma mesma estrela, por exemplo): é o que chamamos de **MÊS SIDERAL**, com duração aproximada de 27,3 dias. Há calendários que se baseiam neste tipo de mês lunar. A eclíptica chinesa, como já citado, é dividida em 28 mansões, cada uma ocupada pela Lua por um dia.

Essa oposição básica entre período sinódico e período sideral se aplica a outros astros em geral. No Volume III, discutimos como se medem períodos sinódicos de planetas (tempo entre duas conjunções, ou duas oposições) e como isso se relaciona com seus períodos siderais (medidos em relação às estrelas de fundo).

- 64- Calcule, teoricamente, a diferença entre o mês sideral e o mês sinódico lunares.
- 65- Qual dessas formas de calcular o mês é mais próxima ao tempo "real" de revolução lunar?
- 66- Seja um corpo central C , e dois corpos P_1 e P_2 orbitando-o, um externo ao outro. Deduza uma forma geral para calcular o período sinódico entre os dois astros, a partir de seus períodos siderais. Repare que a definição lunar é um caso particular deste, em que a Terra é o corpo central e a Lua e o Sol são os que a orbitam, na órbita mais interna e na mais externa, respectivamente.

Mas ainda há outras maneiras de medir a duração do mês, que diferem ligeiramente das anteriores. Podemos por exemplo medir o mês lunar observando duas passagens sucessivas pelo seu perigeu, ou pelo seu apogeu (o que foi questão da prova da OBA de 2008). É o chamado **MÊS ANOMALÍSTICO**. Acontece que a elipse da órbita lunar gira no seu plano, em torno da Terra, em mais um efeito gravitacional bizarro! Isso faz com que o perigeu e o apogeu caminhem em relação às estrelas de fundo, com um período de 8,85 anos (3233 dias). Combinando o período sideral da Lua com o período sideral do perigeu lunar, obtemos o mês anomalístico.

67- Calcule a duração do mês anomalístico.

Uma quarta maneira de calcular o mês diz respeito ao que discutíamos no capítulo anterior. Podemos calcular o período entre duas aparições da Lua junto a um mesmo nodo. Assim, combinando os períodos siderais da Lua e do Nodo Ascendente (conhecido como Ponto do Dragão), obtemos o **MÊS DRACONIANO** OU **NODAL**. Quanto ao período sideral do Nodo, ele se deve a um outro efeito gravitacional ainda mais bizarro: o plano orbital da Lua também precessiona, como a Terra (!), tendo como eixo a perpendicular da Eclíptica. Assim, o Ponto de Dragão completa uma volta, no sentido horário, em 18,6 anos (6793 dias).

68- Calcule a duração do mês draconiano.

Para prever eclipses e suas repetições, é preciso fazer uma combinação tríplice, do período sideral do Sol, da Lua e do Ponto de Dragão. Assim, um período de Saros deve ser o menor período que contenha um número inteiro de meses sinódicos (Sol + Lua) e de meses draconianos (Lua + Dragão), além de corresponder aos ciclos de eclipses. Assim temos:

$$\begin{aligned} 6585 \text{ dias} &= 223 \text{ meses sinódicos de } 29,53 \text{ dias} \\ &= 242 \text{ meses draconianos de } 27,21 \text{ dias} \\ &= 239 \text{ meses anomalísticos} \\ &= 19 \text{ ciclos de eclipses de } 346,62 \text{ dias} \end{aligned}$$

7.3 Anos

O calendário mais utilizado hoje pelo mundo é o **CALENDÁRIO GREGORIANO**. Este calendário se baseia no antigo calendário *romano*, com base lunar. Este, por sua vez, é baseado no calendário *egípcio*.

Na verdade, os egípcios possuíam três calendários. Inicialmente, mantinham um calendário lunar (baseado nas fases da Lua), como o dos babilônicos e dos romanos, com meses de 29 ou de 30 dias. No total, tinham um ano de 354 dias. Para completar um ciclo anual e mantê-lo alinhado com O Iniciador do Ano (ver mais abaixo), se acrescentava um mês adicional a cada dois ou três anos.

Mas os egípcios sempre foram uma civilização eminentemente agrícola – e a principal função do calendário, claro, era regular estas atividades agrícolas. Para isto, um calendário lunar era bem pouco adequado. Acabou-se fazendo então um calendário solar: períodos de dez dias (uma primeira versão do que chamamos de “semana”); meses lunares de 30 dias; três estações anuais de quatro meses, que já existiam no calendário lunar (Inundação, Emersão dos Campos e Colheita); e finalmente um ciclo anual completo com 360 dias, ao qual era adicionado um período inter-anos de cinco dias.

No período de 2937 a 2821 a.C. os calendários solar e lunar foram usados como que unidos, pois eles coincidiam. Com o tempo, entretanto, essa superposição se desfez; mas boa parte das

festas religiosas ainda era baseada no calendário lunar. De qualquer forma, os egípcios encararam bem cedo o que alguns astrônomos chamam do *problema fundamental dos calendários*: como alinhar a contagem solar de tempo à contagem lunar (já que um ano solar não contém um número inteiro de meses lunares, sinódicos nem siderais)?

Mas neste calendário de 360+5 dias ainda havia uma defasagem que se acumulava com o tempo: um dia a menos a cada quatro anos. Com isso, sendo rigorosos, o primeiro dia do ano só acontecia com o nascimento helíaco de *Sothis* (Sirius) a cada $4 \times 365 = 1460$ anos. Esse período ficou então conhecido como CICLO SÓTICO.

O calendário romano também era baseado no período sinódico da Lua, inicialmente. Mas isso fazia dele muito irregular, pouco cômodo. Então, no ano de 46 a.C., Júlio César (102-44 a.C.) introduziu o CALENDÁRIO JULIANO, baseado no calendário solar egípcio, e já corrigido com o problema do dia a cada quatro anos. Assim, em média, o ano solar Juliano durava 365,25 dias: três anos possuíam 365 dias e um quarto ano, bissexto, tinha 366 dias. Em homenagem a si próprio, Júlio César acrescentou um mês, chamado *Julho*, com 31 dias. O imperador seguinte, César Augusto, para não ficar para trás, acrescentou outro mês de 31 dias: o de *Agosto*. O calendário Juliano vigorou até meados do século XVI na Europa.

7.3.1 A Reforma

O ano trópico vale aproximadamente 365,2422 dias solares médios; com isso, ao passar de muitos séculos, o calendário de Julio César foi ficando defasado em relação às datas religiosas e às estações do ano. Essa diferença foi se acumulando a ponto que em 1582 o Equinócio Vernal (21 de Março) já estava ocorrendo dia 11 de Março.

O problema do calendário já vinha sendo discutido há muito tempo entre padres, bispos, astrônomos... Até que, depois de um longo estudo, a Igreja tomou, em 1582, uma posição. O Papa Gregório XIII publicou em édito uma reforma no calendário, introduzindo as seguintes mudanças:

- Retirou os 10 dias de atraso²;
- Os anos múltiplos de 100 não seriam mais bissextos;
- Anos múltiplos de 400, mesmo que múltiplos de 100, seriam bissextos.

Assim o ano do calendário passou a valer:

$$365 + \frac{1}{4} - \frac{1}{100} + \frac{1}{400} = 365,2425 \text{ dias}$$

valor muito mais próximo dos 365,2422 dias do ano trópico. Este calendário ficou conhecido então como CALENDÁRIO GREGORIANO. Só resta uma diferença de $\frac{1}{3300}$, mas consertaremos isso quando tiverem passado 3300 anos.

A Igreja Ortodoxa Grega, uma das metades que saiu do Cisma da Igreja de 1054 (a outra metade é a Igreja Católica Apostólica Romana, com sede no Vaticano), por outro lado, não aceitou a reforma feita pelo papa romano; até hoje o calendário Juliano é o oficial desta igreja. O que significa, dentre outras coisas, que o natal e a páscoa nos países de maioria ortodoxa (isto é, a maioria dos países da Europa Oriental) é comemorada em datas diferentes! A Rússia mesmo, politicamente, só adotou o calendário gregoriano em 1917, com a Revolução Soviética!

²Exatamente: era um dia 4 de setembro, e o dia seguinte foi dia 15 de setembro. Deve dar para imaginar o quanto de confusão isso causou.

- 69- Descubra quando a diferença entre Juliano e Gregoriano será de um ano (isto é, quando dia 22 de Outubro, por exemplo, do Gregoriano coincidirá novamente com 22 de Outubro no Juliano).

Até hoje a reforma vem causando problemas em nosso cotidiano. Um fenômeno carioca recente envolve o jogador de futebol Dejan Petkovic, do clube do Flamengo. No final de 2009, como de praxe, o jogador foi liberado para passar o natal com sua família, na Sérvia. Acontece que a igreja sérvia é ortodoxa e, portanto, adota o calendário juliano; o Natal, assim, é comemorado em 7 de Janeiro. Por conta disso, o jogador perdeu o início da temporada do Campeonato Carioca e, quando voltou a jogar, estava fora de forma, diferente dos demais jogadores, que já vinham treinando. Assim passou-se um período de duras críticas ao jogador, por parte da torcida; houve inclusive o boato de que ele poderia ser demitido do time. Com o tempo, a situação se normalizou, mas foi assim que a Reforma Gregoriana quase mudou a história do Clube de Regatas do Flamengo.

7.3.2 Ano Novo e Páscoa

Outra coisa importante sobre calendários, além da duração de seus ciclos, é o momento de início deles. Até hoje, as festividades de Ano Novo são intensas e importantes por todo o mundo. O Ano Novo é uma celebração da vida, de mais um ciclo que se encerra, e de outro que começa. Todos os povos tiveram comemorações desse tipo, de celebração do grande ciclo do Sol. Dentre os povos do frio, essa comemoração era feita Solstício de Verão - o dia em que o sol passa mais tempo no céu, símbolo do auge do florescimento vibrante de vida. Já para povos ligados à agricultura na margem dos rios, a referência era a época da colheita, em que eles finalmente recebiam os alimentos da natureza. Para os egípcios, o início do ano era o início da cheia do Nilo, marcada pelo nascer helíaco do deus Sothis, personificado na estrela mais brilhante do céu (cujo nome grego era Sirius). Por isso, os egípcios chamavam Sothis de “O Iniciador do Ano”.

Durante o império romano, o calendário (bem como todas as coisas administrativas em geral) foi perdendo suas raízes nos fenômenos naturais e astronômicos. O ano começava em Março, com o equinócio de primavera, mas depois novos meses foram acrescentados, e o início do ciclo anual, deslocado. Meses passaram a ter 30 ou 31 dias, e perderam o alinhamento com os meses lunares. O desligamento prosseguiu ao longo da Idade Média, em que o calendário dos romanos passou a ser um calendário eclesiástico. Além disso, era importante também combater os calendários “pagãos” dos celtas e germânicos, suas comemorações do solstício, sacrifícios e coisas do tipo. Houve a reforma gregoriana, mas a preocupação nela era muito mais a data da Páscoa. Hoje até podemos dizer que o início do ano é bem próximo do periélio, mas isso também vai mudando com o tempo, graças à precessão dos equinócios.

O ANO JUDEU, por outro lado, começa em meados de setembro! A sua contagem começa na data que se considera a da criação do mundo, ano 3761 a.C. Estamos, portanto, em pleno 5770, segundo esse calendário. O CALENDÁRIO MUÇULMANO é bastante parecido com o judeu – lunar, com intercalações de meses em um ciclo de 19 anos – mas a contagem começa bem mais tarde. Neste caso, a data marcante é a Hégira (a fuga de Maomé de Meca para Medina), ocorrida em 16 de julho de 622, segundo o nosso calendário.

No início do século XXI, houve um grupo que propôs uma reforma completa no calendário, para reestabelecer o contato entre as atividades humanas e os ciclos da natureza - a perda deste contato, segundo este grupo, contribuía inclusive para uma atitude anti-ecológica e destrutiva com relação ao mundo natural. A intenção era manter o ano com as regras do Calendário Gregoriano, mas abolir os meses tradicionais, e substituir por 13 meses de 28 dias (baseados no mês sideral). Com isso, sobraria um dia “sem mês” no ano, que seria o primeiro dia do ano, o “dia da paz universal” ou algo do gênero. O manifesto foi enviado por carta à ONU, a alguns

governos importantes e ao Vaticano, mas acabou tendo o mesmo destino que a constelação da Glória de Frederico.

- 70- Quando chegar o ano novo muçulmano, em torno da metade do ano (não exatamente em 16 de julho, pois o calendário deles é lunar como o dos judeus), em que ano eles estarão entrando?

A *Páscoa*, como dissemos, talvez seja a data mais importante do calendário cristão (gregoriano ou juliano-ortodoxo). Em cada ano, entretanto, ela é comemorada em um dia diferente! A questão é que a páscoa é uma festa herdada do calendário judeu³, que é lunar.

No calendário judaico, um ano consiste de 12 meses de 29 ou 30 dias (cada Lua Nova marca o início de um novo mês), totalizando 353 ou 355 dias. Isso dá um período dez dias menor que o ano solar. Por isso, no 3º, 6º, 8º, 11º, 14º, 17º, e 19º anos de um ciclo de 19 anos (o tal CICLO DE MÉTON, período que comporta um número inteiro de ciclos lunares e solares), acrescenta-se um mês adicional, chamado Adar II. (Já existe o mês Adar no ano comum).

Desta forma, a Igreja acabou determinando uma regra lunar curiosa para a comemoração da Páscoa: o primeiro domingo depois da primeira Lua Cheia, depois do Equinócio Vernal. A mesma regra vale para a Igreja Ortodoxa, mas com o Calendário Juliano. A terça-feira de *Carnaval* (que talvez no Brasil seja uma comemoração ainda mais importante que a páscoa) é definida, assim, como acontecendo 40 dias antes da festa pascoal.

- 71- Descubra quando será comemorado o natal na Rússia em 2009. E a páscoa? O mesmo para a França.

7.4 Semanas

Um período aparentemente menos astronômico do calendário, mas muito importante também, é o da SEMANA. É interessante, pois adotamos dois calendários que correm simultaneamente: o primeiro dos dias numerados, meses e anos, e o segundo das semanas. Os maias faziam algo parecido, com dois calendários: um de 360 outro de 260 dias.

O costume de marcar períodos de sete dias vem dos babilônicos, e foi adotado no império romano, associado às práticas astrológicas. Lá, os dias da *septimana* ganharam os nomes dos deuses romanos (que eram também os nomes dos sete astros errantes do céu). O império foi cristianizado e depois o império caiu mas a cristianização se manteve. A semana foi mantida, porque também representavam os sete dias de criação do mundo (a cultura judaica tem raízes também na mesopotâmia, como será discutido na próxima unidade). Os germânicos também adquiriram o costume de agrupar os dias em grupos de sete, por influência romana - mas os nomes dados foram os nomes dos deuses germânicos. A Igreja, depois de estabelecida, tentou lutar contra os nomes pagãos dos dias da semana e popularizar nomes mais neutros. Mas por alguma razão muito curiosa, isso só deu certo em Portugal...

³Muito antes de se transformar em comemoração da crucificação de Jesus, a Páscoa (Pessach) já era uma festa importante para os judeus, comemorando a fuga de Moisés e seu povo do Egito.

latim	italiano	Francês	catalão	espanhol	reformado (PT)
Dies Solis Dies Dominica	Domenica	Dimanche	Diumenge	Domingo	Prima Feria Domingo
Dies Lunae	Lunedì	Lundi	Diluns	Lunes	Secunda Feria
Dies Martis	Martedì	Marti	Dimarts	Martes	Tertia Feria
Dies Mercurii	Mercoledì	Mercredi	Dimecres	Miércoles	Quarta Feria
Dies Jovis	Geovedì	Jeudi	Dijous	Jueves	Quinta Feria
Dies Veneris	Venerdì	Vendredi	Divendres	Viernes	Sexta Feria
Dies Saturni	Sabato	Samedi	Dissabte	Sábado	Sabbatum

Os dias do fim de semana, entretanto, acabaram cristianizados em todas as línguas latinas. O primeiro dia da semana (Prima Feria, no calendário reformado pela Igreja) se tornou *Dies Domenica*, o *Dia do Senhor*. E o sétimo era o *Shabbat* judaico, o dia em que Deus descansou após a criação do mundo.

deuses germânicos	inglês	holandês	sueco	alemão
Sun / Zon / Solen / Sonne	Sunday	Zondag	Söndag	Sonntag
Moon / Maan / Månen / Mond	Monday	Maandag	Måndag	Montag
Tyr / Tywaz / Ziu	Tuesday	Dinsdag	Tisdag	Dienstag
Odín / Wotan	Wednesday	Woensdag	Onsdag	Mittwoch
Thor / Donnar	Thursday	Donderdag	Torsdag	Donnerstag
Frigg	Friday	Vrijdag	Fredag	Freitag
	Saturday	Zaterdag	Lördag	Samstag

Nas línguas germânicas, entretanto, permaneceram os nomes pagãos até nestes dias; o primeiro dia da semana permaneceu sendo o dia do Sol. Curiosamente, o sétimo dia da semana em inglês e em holandês, diferente dos outros, ficou com o nome do deus latino correspondente, Saturno. Em alemão, *Samstag* vem do antigo alto-alemão *sambaztac*, que por sua vez vem também do *shabbat*. Em sueco e nas línguas nórdicas, é um nome de atividade cotidiana: vem do nórdico antigo *laugar dagr*, dia do banho⁴ (!).

Os hindus antigos também usavam uma semana de sete dias, de forma que um mês lunar sideral era dividido em quatro semanas exatas. Deles, os chineses adquiriram também a prática. Em chinês e em latim, a ordem dos planetas homenageados em cada dia é a mesma.

Hoje os dias da semana em chinês seguem um padrão numérico (numerados de 1 a 7 começando na segunda-feira); mas os japoneses ainda usam essa nomenclatura planetária antiga.

Os chineses têm um calendário quase tão antigo quanto o dos egípcios. Ele foi criado em 2367 a.C por Huang-Ti (ou Senhor Amarelo). O calendário deles é predominantemente lunar, como o judeu. E assim, os meses são intercalados de forma que, para cada 12 anos de 12 meses, há 7 anos de 13 meses. Há, portanto, um ciclo de 12 anos (bem como 12 luas por ano), algo próximo do período sinódico de Júpiter, o grande planeta, associado à madeira. Para se ter uma idéia

⁴Por mais incrível que possa parecer, isso não é uma piada!

da importância da Lua para eles, seu zodíaco era dividido em 28 Mansões Lunares, cada uma ocupada pela Lua em um dia do mês.

O ano novo chinês ocorre em torno do solstício de inverno do hemisfério norte. Este ano é o ano do Boi. O atual ciclo de 12 anos se encerra em 4709 (2012 para nós), que é o próximo ano do Dragão. A comunidade chinesa de São Paulo costuma fazer anualmente uma grande festa de ano novo, em Janeiro ou Fevereiro, na praça da Liberdade.

Latim	Ideogramas Chineses	Tradução
Dies Solis	日 曜 日	Dia do planeta Sol
Dies Lunae	月 曜 日	Dia do planeta Lua
Dies Martis	火 曜 日	Dia do planeta do Fogo
Dies Mercurii	水 曜 日	Dia do planeta da Água
Dies Jovis	木 曜 日	Dia do planeta da Madeira
Dies Veneris	金 曜 日	Dia do planeta do Metal
Dies Saturni	土 曜 日	Dia do planeta da Terra

Figura 7.3: Semana chinesa tradicional. Repare que “dia” em chinês antigo é representado também pelo ideograma de “Sol”-- razão pela qual os dois ideogramas das pontas são iguais, no nome deste dia. Repare que os ideogramas de Sol e Lua derivam, respectivamente, de desenhos do Sol e da Lua como vistos no céu. O ideograma de fogo é uma chama com duas labaredas soltas; o de água é o curso de um rio em S; o de madeira é uma árvore. Para mais sobre os cinco elementos chineses, ver primeiro capítulo do Volume 3.

Para termos um exemplo de calendário *muito* diferente, tomemos os maias, que tinham um desenvolvimento astronômico em alguns aspectos comparável ao dos chineses. A começar pelo fato de que seu sistema de numeração era de base 20, e não base 10 como o nosso. Por isso, o ano civil (haab) era composto por 18 meses de 20 dias cada!!! Além disso, no final do ano ainda havia o Uayeb, um período de 5 dias sem mês, que geralmente era considerado de azar. E assim completavam-se 365 dias. Mas, paralelamente a esse, havia um calendário religioso (tzolkin), com 20 “nomes de dias” (algo equivalente à nossa semana), e uma contagem numérica de dias que ia de 1 a 13, como os nossos números dos dias. Isso gerava um período de 260 dias, que tinha uma importância maior no calendário que o ano de 365 dias! Assim, existia um outro grande ciclo de 52 anos, depois do qual o calendário civil e o religioso coincidiam; e dois ciclos desses (104 anos), era um “Grande Ciclo de Vênus”, que correspondem a 65 períodos sinódicos inteiros de Vênus (584 dias)! Vênus era mais importante que a Lua para o calendário maia!

Quem gostava muito de períodos grandes eram os antigos hindus. Segundo a visão de mundo tradicional hindu, o mundo estaria dividido em quatro partes; e no centro delas, no eixo do mundo, havia a grande montanha Meru, onde os deuses moravam. Os astros também giravam em torno dessa montanha, ou seja, os deuses os viam como se estivessem no pólo norte. Ora, mas sabemos que uma pessoa no pólo norte tem o Sol no céu por seis meses, sem se pôr, daí ele se põe (uma vez ao ano) e seguem-se seis meses de escuridão. Ou seja: um ano humano equivale a um dia dos deuses! E, logicamente, um ano dos deuses são 365 anos humanos. Usando esta idéia e calculando períodos de todas as coisas que poderiam, os hindus foram construindo períodos enormes um sobre o outro: a história da humanidade é dividida em quatro idades; as somas das quatro idades totalizam 12 000 anos divinos (4 380 000 anos humanos), e são uma Idade do

Devas. Mil idades do Devas equivalem a um dia de Brahman (o criador do universo, e o próprio universo!), que são 4,38 bilhões de anos humanos. Depois de um desses Dias, segue-se a Noite de Brahman: todo o universo se dissolve e se une a ele. A noite de Brahman tem a mesma duração do seu dia, e um novo dia significa uma nova criação de todas as coisas⁵. A comemoração aí seria um pouco mais intensa que a do nosso ano novo, não?

Exercícios

Dias

- 72- O tempo sideral é igual a 9h14min. A ascensão reta de uma estrela é igual a 14h30min. Dizer o ângulo horário da estrela. Se ela tiver declinação 0, ela está visível no céu? E se tiver declinação -70° ?
- 73- Os catálogos de objetos celestes costumam trazer as coordenadas equatoriais dos objetos. A partir da fórmula acima, imagine-se um observador do céu, procurando vários objetos, e reflita sobre a importância de conhecer (ou saber estimar) a hora sideral do momento da observação.
- 74- Onde está Vega no céu ($\alpha = 18^h34^m$) em 21 de Março, uma hora após do Sol se pôr? E em 30 de Julho, na mesma situação? Resolva também o exercício, considerando que falta uma hora para o nascer do Sol. Considere latitudes baixas, no céu meridional.
- 75- Qual o ângulo horário de Vega na culminação superior do ponto vernal? E na inferior? O mesmo para Capella ($\alpha = 5^h10^m$).
- 76- Calcule a diferença entre o dia solar e o dia sideral terrestres. Se a Terra girasse com o mesmo período mas no sentido oposto, qual seria a duração do dia solar? Quantos dias teria o ano?
- 77- Quanto dura, em horas siderais, um dia solar?

Meses

- 78- Se a Lua estava no quarto crescente no Natal do ano passado, em que fase ela estará no Natal deste ano?
- 79- Imagine que você viu no jornal que ontem a Lua se pôs às 21:27 h. A que horas ela se porá hoje?
- 80- A Lua nasce todos os dias?
- 81- Porque a Lua Cheia fica mais tempo no céu do inverno que no céu do verão?
- 82- Qual vai ser a altura da culminação superior (isto é, a altura máxima ao longo do dia) da Lua no natal? *Dado: Esse ano, o natal vai ser comemorado no dia 25 de dezembro.*
- 83- Na Terra, a Lua demora cerca de dois minutos para passar do horizonte. Quanto tempo a Terra demora para nascer, no horizonte lunar?

⁵Os chineses têm algo parecido, provavelmente uma antiga herança cultural dos hindus: a SUPREMA GRANDE ORIGEM DERRADEIRA, que dura 23 639 040 anos (a combinação de todos os ciclos conhecidos), depois da qual todos os objetos celestes voltam às mesmas posições, e todas as coisas começam a se repetir.

- 84- Durante a ocultação de uma certa estrela pela Lua, a estrela permaneceu 20 minutos oculta. A ocultação era central (isto é, a estrela passou por trás do *centro* da face lunar)?
- 85- Como seria o movimento diurno da Lua se o mês sideral durasse tanto quanto o dia sideral?
- 86- Como seria o movimento diurno da Lua se o mês sideral durasse menos que o dia sideral (digamos, 20 horas)?
- 87- **(IAO 2000)** As duas fotos da Lua abaixo foram obtidas pela mesma câmera, montada sobre o mesmo telescópio (localizado na Terra). A primeira foi tomada quando a Lua estava próxima do seu perigeu, e a Segunda, próxima de seu apogeu. Encontre, a partir destes dados, o valor da excentricidade da órbita da Lua. Estime o mínimo intervalo de tempo entre os instantes em que as fotos foram obtidas.



- 88- O que aconteceria com as épocas de ocorrência de eclipses se os nodos da órbita lunar fossem fixos?

Capítulo 8

Analemas

Nos capítulos anteriores, vimos que o Sol não está fixo na Esfera Celeste; em vez disso, ele completa um período sobre ela, no sentido oposto à rotação desta, em cerca de 365 dias. Isso faz com que a cada dia o Sol nasça ligeiramente mais tarde em relação às estrelas, e faz com que o dia solar seja ligeiramente maior que o dia sideral. Como o Sol percorre os 360° de ascensão reta em 365 dias, ele atrasa em média um pouco menos de um grau por dia no céu. Como o céu todo, por sua vez, roda os 360° de ascensão reta em 24 horas, então o Sol atrasa em média cerca de 4 minutos no céu. Isto é, o dia solar é cerca de 4 minutos mais longo que o dia sideral.

Portanto, se fotografarmos o Sol todos os dias no mesmo horário (isto é, com intervalos regulares de 24 horas ou um dia solar) devemos vê-lo sempre na mesma posição no céu, ou pelo menos com o mesmo ângulo horário, certo? Não. Não contamos ainda toda a história para vocês. Na verdade, se fizermos tais fotografias, ao longo de um ano, a figura que o Sol faz é a que é mostrada na fotografia 8.1.



Figura 8.1: Analema produzido no entardecer do céu da Ucrânia. Créditos: Vasilij Rumyantsev, Observatório Astrofísico da Criméia.

A figura tem o exótico nome de ANALEMA e seu tipo consiste em uma das três famílias de curvas geométricas mais importantes da astronomia¹. Mas porque raios o Sol descreveria uma curva bizarra dessas?! O movimento “vertical” (em declinação) é fácil de explicar; afinal, o Sol percorre seu caminho constante no céu ao longo da *eclíptica*, que é um círculo 23 graus inclinado em relação ao *equador celeste*; já vimos que essa variação de declinação do Sol é o que marca os solstícios e equinócios.

Mas a variação da posição do Sol em ângulo horário também se explica: A duração do dia solar varia ao longo do ano, ou seja, a cada dia, seu atraso em relação às estrelas é ligeiramente diferente. Isso ocorre por dois motivos principais:

- Aprendemos na escola (E aprenderemos novamente no Volume III) que a órbita da Terra em torno do Sol não é perfeitamente circular, mas ligeiramente achatada, de forma que a velocidade orbital da Terra varia: é maior quando está mais perto do Sol, menor quando está mais distante. Assim, o atraso angular do Sol é diferente em cada época; menor no afélio e maior no periélio².
- Mesmo se a órbita terrestre fosse perfeitamente circular, o dia solar não teria sempre a mesma duração. Neste caso, a velocidade de atraso do Sol seria constante, mas *na eclíptica*. E os atrasos do Sol são medidos em relação à rotação da Terra, paralela ao *equador celeste*. Assim, embora o movimento solar eclíptico tenha rapidez constante, a *projeção do seu movimento eclíptico no equador celeste* não o tem.

Em termos de calendários, seria muito inconveniente ter dias com durações diferentes. Para isso foi definido o DIA SOLAR MÉDIO: o dia com duração igual à média de todos os dias solares verdadeiros do ano. Ou, se você prefere interpretar geometricamente, o dia solar médio é o tempo entre duas culminações máximas do *Sol Médio*, um ente fantasma que percorre o Equador Celeste com velocidade constante e completa um ciclo em um ano trópico. Foi o dia solar médio que calculamos rapidamente no primeiro parágrafo. A HORA SOLAR MÉDIA (que grosso modo é a hora que medimos com nossos relógios) é, por definição, $\frac{1}{24}$ do dia solar médio.

Essa diferença entre a hora solar média e a hora solar verdadeira, que pode chegar a cerca de 15 minutos, é especialmente importante quando vamos fazer medidas com o *Sol Verdadeiro* (aquele amarelo que anda pelo céu) e comparar com nossos relógios.

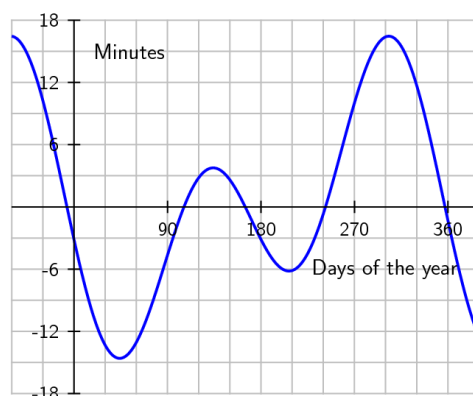


Figura 8.2: Gráfico da Equação do Tempo ao longo de um ano. Fonte: Wikipédia.

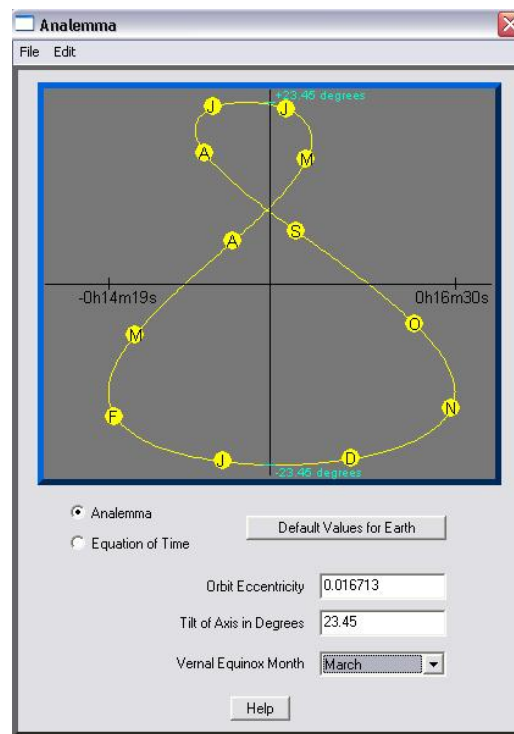
¹As outras duas famílias de curvas fundamentais, junto com os analemas, são as curvas cônicas e as esferas.

²Se você não sabe o que é afélio ou periélio, consulte agora mesmo o Volume III

Para isso, os astrônomos, que gostam de dar nomes grandiosos às coisas, usam a chamada EQUAÇÃO DO TEMPO: a diferença, em um determinado momento, entre a hora solar média e a hora solar verdadeira. Os cálculos finos são um pouco chatinhos de se fazer, mas periodicamente esses valores são medidos com precisão e tabelados; quando alguém precisa da equação do tempo pra um dado dia, olha o valor na tabela.

Plotando esses valores em um gráfico, obtemos a figura 8.2.

Agora que já foram apresentados, o analema e você, podemos avançar na discussão. Para isso, utilizamos um programinha de fazer analema, muito interessante em termos de diversão astronômica, baixável em <http://www.analemma.com/>. Segue a tela-padrão do programa.

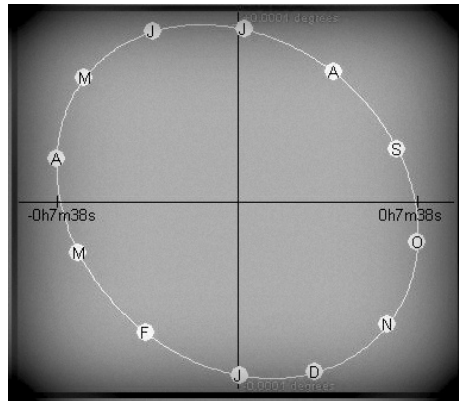


O eixo vertical marca a declinação do Sol, e o horizontal marca o valor da equação do tempo. Repare que podemos controlar três coisas no programa: excentricidade orbital, inclinação do eixo de rotação e mês do equinócio vernal. Vejamos um por vez.

8.1 Excentricidade

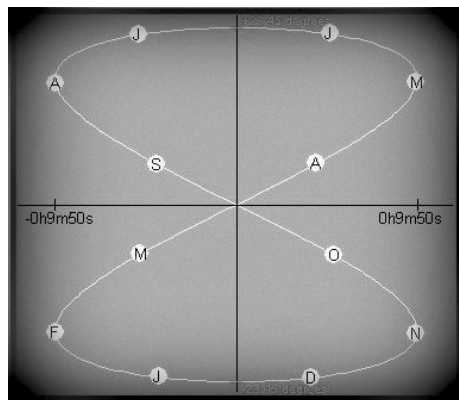
Começamos estudando apenas a variação devida ao achatamento da órbita. Para isso, fazemos, no programa, a inclinação do eixo igual a quase-zero (0,001). Com isso, obtemos a figura ???. No eixo vertical (declinação), a figura oscila entre $\pm 0,0001^\circ$; no eixo horizontal (ângulo horário), entre ± 7 min 28 s. Se o programa permitisse fazer a inclinação igual a zero, o efeito seria apenas uma reta horizontal, ou seja, um arco de 15 min ao longo do equador celeste.

Repare que, ao longo do ano, o Sol cruza duas vezes o meridiano central (que dá a posição do Sol Médio). Faz sentido; afinal, a mudança orbital da velocidade terrestre é um efeito anual, com um mínimo e um máximo. Repare também que, idealmente, a trajetória deve ser simétrica em relação ao meridiano central e ao equador celeste.

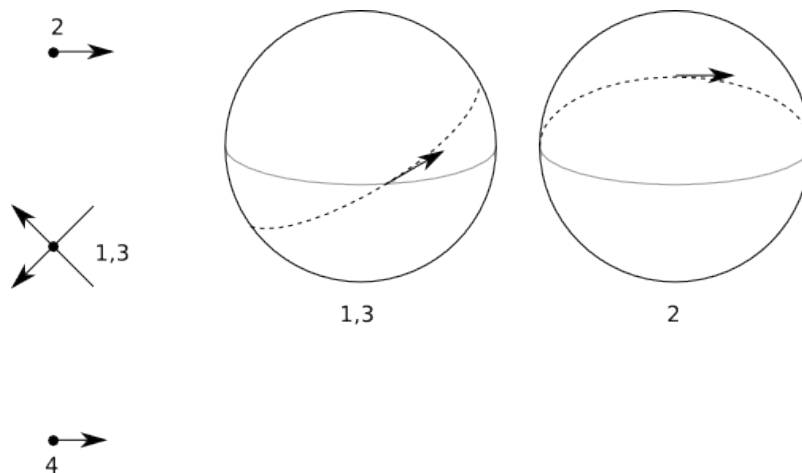


8.2 Inclinação

Vamos à análise da parte mais interessante do fenômeno. Fazendo, no programa, a excentricidade igual a zero, obtemos:



que é um “oito” simétrico, com amplitude horizontal de 9 minutos. Novamente, a figura é fechada (duh!), simétrica em relação ao equador e simétrica em relação ao meridiano central. Mas, desta vez, ela cruza quatro vezes o meridiano do Sol Médio, ao longo do ano. Para entender isso melhor, veja a figura ??



Do lado esquerdo, marcamos quatro pontos especiais de um analema: os dois do cruzamento e os dois do topo. Do lado direito, as posições 1 e 2 na Esfera Celeste, mostrando também a eclíptica (linha tracejada) e o equador (linha contínua). Chamemos de V_S a velocidade do Sol sobre a eclíptica. Neste caso:

Nas situações 1 e 3 (cruzando o equador), a velocidade em ângulo horário é V_S multiplicado por $\cos 20^\circ$ (isto é, projetado no equador), que é menor que V_S . Assim, nesses pontos o Sol Verdadeiro está atrasando em relação ao Sol Médio, indo para trás. Pela simetria do movimento, é fácil ver que os pontos 1 e 3 coincidem.

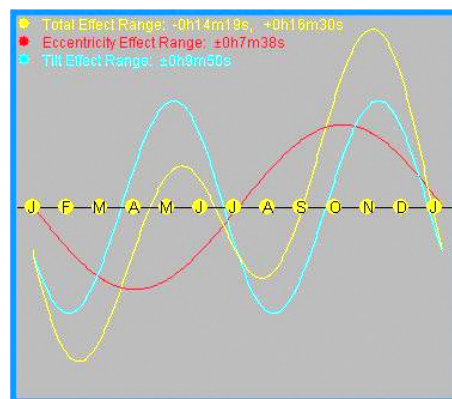
Na situação 2 (altura máxima), a velocidade orbital é paralela ao equador, mas acontece em um círculo menor de ângulo horário. Assim, com a mesma velocidade, ele percorre um trecho maior do círculo (ou seja, um ângulo maior). Em outras palavras, a velocidade angular no sentido do ângulo horário é maior que V_S , então neste ponto o Sol está adiantando, indo para frente. A situação 4 é idêntica, mas com altura máxima para o outro lado. Novamente pela simetria das situações, é fácil ver que os pontos 2 e 4 situam-se na mesma "linha vertical" que os pontos 1 e 3.

Assim, temos dois mínimos e dois máximos. Nos pontos em que a velocidade relativa é máxima, a distância entre Sol Verdadeiro e Sol Médio é mínima (nula): são os quatro pontos mostrados, em que o Sol está sobre o meridiano médio. Nos quatro pontos em que a distância é máxima, a velocidade relativa é nula: Sol Verdadeiro e Sol Médio têm a mesma velocidade.

Para simplificar a visualização, podemos ignorar a mudança de declinação do Sol e olhar apenas para a equação do tempo. O gráfico deve cruzar o eixo horizontal quatro vezes, tendo além disso dois máximos e dois mínimos. Parecendo uma senóide. De fato, a projeção de coordenadas eclíptica não é um seno, mas uma função trigonométrica mais complicada³ cujo gráfico se parece com uma senóide.

8.3 Distância do Periélio ao Equinócio

Em resumo, mostramos a equação do tempo, na parte gerada pela excentricidade orbital (vermelho) e pela inclinação do eixo (azul) e a soma dos dois gráficos (amarelo), que fornece a equação do tempo real.



Os dois efeitos geram o analema terrestre que conhecemos, mostrado na figura 8.3.

³Sendo λ a longitude eclíptica do Sol, α sua ascensão reta, δ sua declinação, ϵ o ângulo entre equador e eclíptica, a ascensão reta do Sol pode ser calculada por: $\sin \alpha = \frac{\cos \epsilon}{\cos \delta} \sin \lambda$

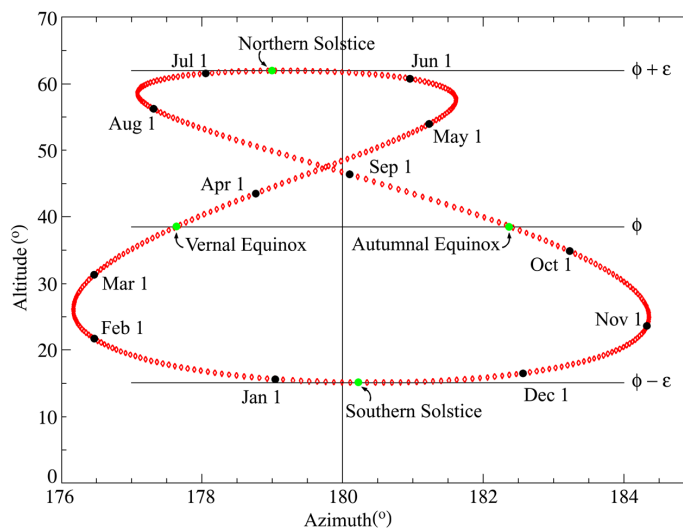
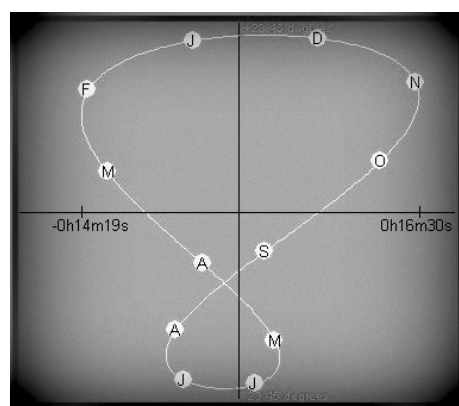


Figura 8.3: Analema real da Terra. Repare que, graças à soma dos efeitos, o Sol Verdadeiro não coincide com o Sol Médio nos equinócios e solstícios. Fonte: Wikipédia.

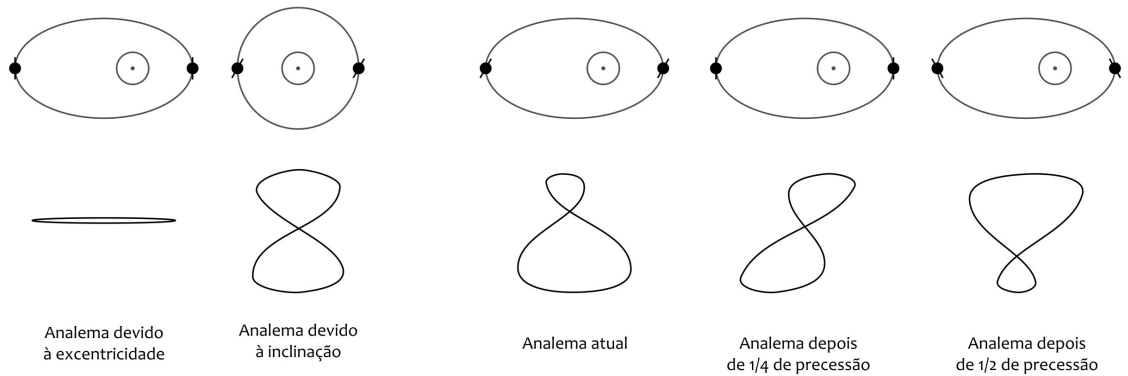
Repare que a assimetria do analema terrestre é gerada pelo fato de que os dois gráficos não estão alinhados; em outras palavras, o eixo periélio-afélio não está alinhado com o eixo dos equinócios (nem com o eixo dos solstícios). A princípio, a posição relativa entre tais eixos é arbitrária. No gráfico da equação do tempo, isso corresponde à diferença nos valores iniciais de cada uma das funções.

Hoje, o periélio terrestre ocorre em torno de 4 de Janeiro, perto do Solstício de Verão do Sul. Mas existe um movimento da Terra que altera tal disposição, mudando a data do calendário (fixada pelos equinócios, como já vimos) em que ocorre o periélio. Esse movimento, chamado de **PRECESSÃO**, é o tema do próximo capítulo. Por enquanto, basta notar que a diferença de tempo entre periélio e equinócio é um parâmetro importante para determinar como os desvios se combinam.

Imagine, por exemplo, como será o analema daqui a meio período de precessão (13 000 anos), quando o periélio ocorrer em julho. Graças à simetria do desvio causado pela inclinação, que tem um período de meio ano, a situação será similar à atual, trocando apenas os hemisférios: os desvios do sul estarão no norte e vice-versa. Em outras palavras, teremos um analema igual ao atual, mas de cabeça para baixo, como mostra a figura ??.

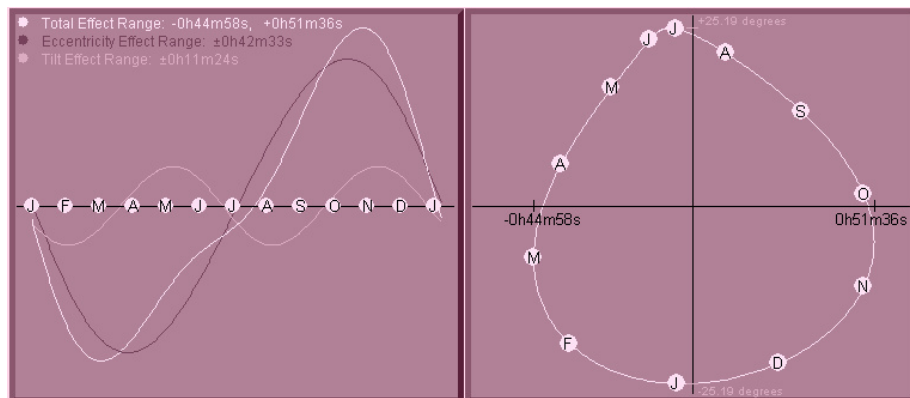


Em um quarto de precessão, por outro lado, o periélio estará perto de um equinócio (e o afélio, perto do outro), devolvendo ao analema a simetria em torno do equador. Veja na figura abaixo, que resume tudo o que foi discutido até agora:



8.4 Outros Planetas

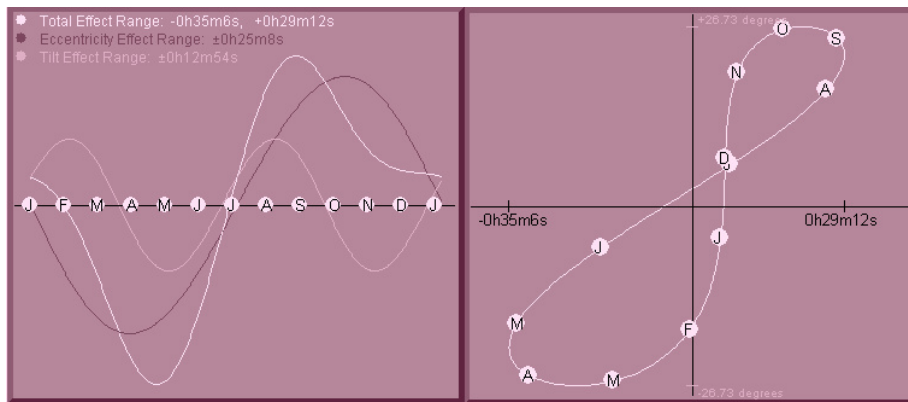
Agora que já entendemos os componentes básicos dos analemas, precisamos conhecer analemas diferentes. Para isso, nada melhor que investigar os parâmetros dos nossos planetas vizinhos. Colocando no programa, por exemplo, os parâmetros de Marte ($\epsilon = 25,19^\circ$, $e = 0,093$), obtemos:



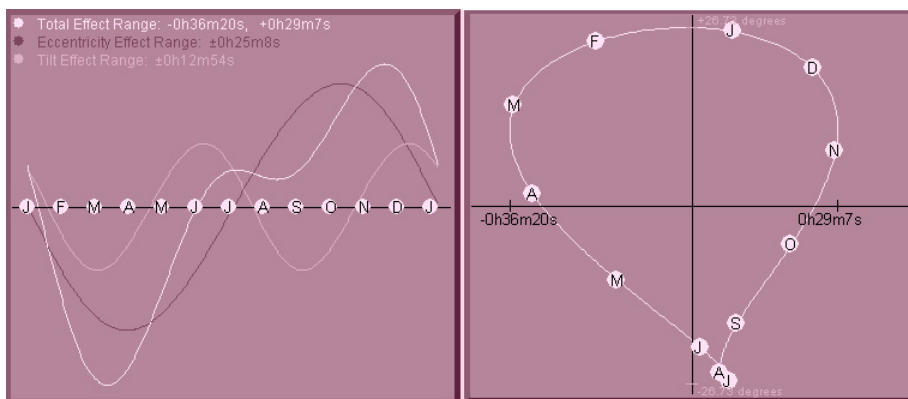
A inclinação é bem próxima à da Terra, mas a excentricidade é significativamente maior. O efeito da excentricidade torna-se então muito maior que o da inclinação, de forma que mesmo em seu máximo, este último é totalmente absorvido pelo primeiro. O resultado é um oito que não fecha. E a equação do tempo só assume valores iguais a zero duas vezes ao ano, seguindo a excentricidade. Somando com a pequena “perturbação” do efeito da inclinação, temos o famoso “analema da gotinha” em Marte.

Júpiter tem inclinação quase zero ($3,13^\circ$), então todo o efeito é só da excentricidade (que não é muito grande mas maior que a da Terra: 0,0487) e o analema deve ser uma elipse muito estirada horizontalmente. A amplitude dessa elipse pode ser facilmente calculada, exercício que deixamos ao leitor.

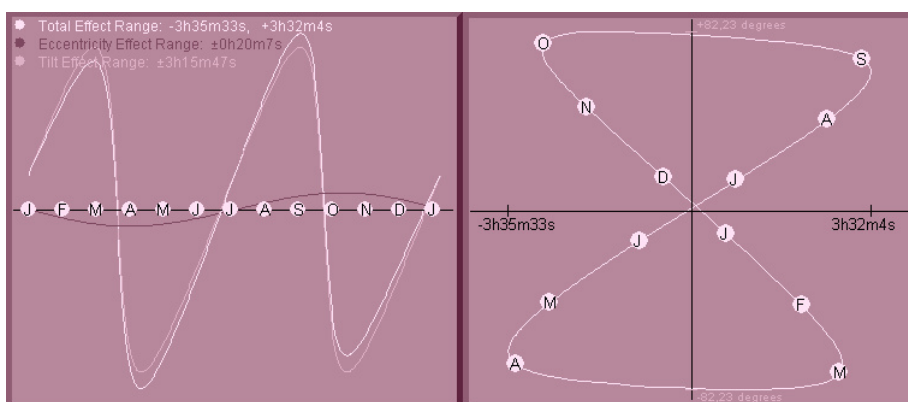
Em Saturno ($e = 26,73^\circ$ $e = 0,055$), os dois efeitos são comparáveis e algo interessante acontece. Se combinarmos os efeitos de um certo modo (colocando “June” como parâmetro), obtemos um oito cujas duas metades são parecidas:



Colocando entretanto o mês do equinócio como Outubro (ou o equivalente em um calendário saturniano), obtemos uma quase-gota:

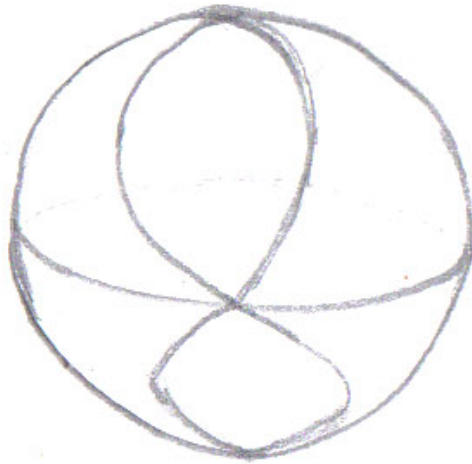


Finalizemos o jogo com um caso extremo: Urano. Sua excentricidade não é muito diferente da dos outros planetas (0,044), mas sua inclinação é: $97,77^\circ$! Neste caso, o efeito da excentricidade é completamente desprezível frente ao da inclinação e temos um oito bastante simétrico.



Mas o mais curioso nesta situação não é a comparação, mas os limites em si: o oito tem

largura de 6 horas de ascensão reta, e comprimento de 180° de declinação! Veja desenho disto na esfera celeste:



Vale ressaltar que o conceito de dia solar médio não possui sentido prático para este mundo (assim como para qualquer outro de grande inclinação do equador em relação a eclíptica), já que a ascensão reta do Sol verdadeiro pode ter até seis horas de diferença em relação ao Sol médio.

Exercícios Analêmicos

- 89- Os 12 signos zodiacais são igualmente extensos sobre a eclíptica. Em qual delas o Sol permanece por menos tempo?
- 90- O capitão de um barco mediu, ao meio-dia verdadeiro de 22 de dezembro, a distância zenital do Sol, encontrando o valor de $66^\circ 33'$. Neste instante, um cronômetro calibrado para a hora sideral de Greenwich marcava 11 h 54 min. Naquele dia, a equação do tempo era -9 min. Marque em um Mapa Mundi a posição do barco.
- 91- Um viajante chegou em um povoado no extremo norte da Rússia munido de
 - Tabelas com coordenadas (α e δ) das principais estrelas;
 - Tabelas dos eclipses de satélites de Júpiter, calculadas de acordo com a hora de Greenwich para o ano em curso;
 - Um teodolito (instrumento que permite medir ângulos horizontais e verticais);
 - Um relógio sideral que havia parado durante a viagem e ficado descalibrado, mas que funcionava em bom estado.
 Descreva a ordem das observações e os cálculos que o viajante deve fazer para conhecer sua latitude e sua longitude.
- 92- Se a inclinação da eclíptica com o equador vale $23^\circ 27'$, supondo que a velocidade do Sol na eclíptica é constante, qual é a velocidade do Sol projetada no equador nos equinócios? E nos solstícios?
- 93- De quanto em quanto tempo devemos fotografar a Lua para fazer um analema lunar?

- 94- Num equinócio não-vernal foi observado um eclipse lunar durante uma Lua Super-Cheia (Lua Cheia no perigeu)! Esboce o analema lunar obtido durante esse mês. Quais as amplitudes máxima e mínima possíveis, em declinação, para esse analema?
- 95- Um satélite visível de Macapá é geoestacionário, i.e., completa uma rotação ao redor da Terra em um dia sideral e é visível com altura e azimute constantes.
- (a) Qual seria a trajetória do satélite, observada por alguém em Macapá, se, por um acidente, a órbita do satélite passasse a ser elíptica?
 - (b) Esboce a trajetória vista pelo nosso observador de Macapá, se a órbita do satélite, ainda circular, tivesse o plano orbital inclinado de $23^{\circ}27'$ com relação ao plano do equador. Calcule todos os parâmetros da trajetória vista possíveis para o observador de Macapá e para um observador no trópico de capricórnio, na mesma longitude de Macapá.
- 96- (IOAA 2012) Um astrônomo do hemisfério sul contempla tranquilamente o nascer do polo eclíptico sul, imaginando o quão legal seria se o céu comesse a girar, diariamente, em torno do pólo eclíptico, em vez de fazê-lo em torno do polo celeste usual. Esboce a trajetória que o astrônomo precisa fazer, ao longo de um dia inteiro, para ver tal fenômeno: as estrelas girando em torno do pólo eclíptico sul, na mesma direção e com o mesmo período com que elas revolucionam em torno do pólo celeste sul. Determine a velocidade do astrônomo (direção e magnitude) quando ele cruza o Equador pela primeira vez.

Capítulo 9

Precessão

As coordenadas equatoriais de uma estrela, embora universais, não são completamente imutáveis. Elas sofrem pequenas variações ao longo do ano (o que chamamos de paralaxe – ver Volume III); sofrem variações lentas devidas ao movimento das próprias estrelas no espaço (o movimento próprio - ver próximo capítulo), e sofrem uma lenta variação secular, em conjunto, que é conhecida desde que se começou a acumular dados observacionais por mais de um século (os babilônicos e os antigos chineses, por exemplo, fizeram isso).

Essa variação secular era percebida como um lento deslocamento do ponto vernal em relação às estrelas de fundo, mudando progressivamente a data dos Equinócios e Solstícios - o que deu o nome ao efeito: PRECESSÃO DOS EQUINÓCIOS.

Como o ponto vernal, os pólos também se deslocavam com relação às estrelas de fundo - fenômeno também percebido com o acúmulo de observações celestes. Nos anos 8000 a.C., por exemplo, quando terminou a última era glacial e o homem começou a praticar a agricultura, a estrela que estava mais próxima do Pólo Norte (e que fazia o papel de estrela polar) era Vega, a famosa α da Lira. Na época dos babilônicos e antigos egípcios, a estrela que ocupava esse lugar era Thuban, a α do Dragão. Durante o esplendor dos romanos, α e β da Ursa Menor eram equidistantes do Pólo Norte, nenhuma próxima o suficiente para ser chamada de polar. Hoje, finalmente, o pólo quase coincide (a menos de um grau) com α *Ursae Minoris*, a estrela que foi batizada, no século XVI, de *Stella Polaris* – e que ainda não atingiu sua máxima aproximação dos pólos do mundo¹.

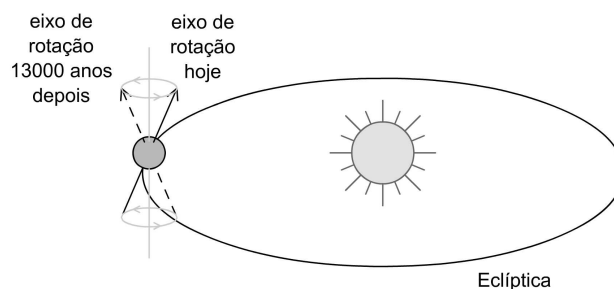


Figura 9.1: Movimento do eixo de rotação devido à Precessão dos Equinócios.

Hoje, interpretamos esse fenômeno como mais um movimento da Terra, ao lado da sua rotação em torno de seu próprio eixo e da revolução em torno do Sol. Este terceiro movimento

¹Polaris estará à menor distância do Pólo Norte Celeste em 24 de Março de 21000, quando sua declinação será de $89^{\circ}32'50,62''$. Fonte: Jean Meeus, *Mathematical Astronomy Morsels*, Cap. 50. Willmann-Bell, 1997

consiste no seguinte: nosso planeta tem um segundo eixo de rotação, perpendicular ao plano da órbita. Esse segundo eixo corresponde a uma rotação de 26.000 anos, MUITO mais longo que o período de rotação do primeiro eixo. Podemos interpretar, assim, como se esse próprio primeiro eixo tivesse um movimento de rotação, preso no segundo eixo.

Nesta interpretação, fica fácil visualizar o deslocamento do ponto vernal - ou seja, o deslocamento relativo entre eclíptica e equador. Mais fácil ainda fica visualizar o deslocamento do pólo, descrevendo um círculo em torno das projeções do segundo eixo na Esfera Celeste: o eixo dos PÓLOS ECLÍPTICOS.

Nesse mapa, podemos ver que a próxima estrela polar é Alrai (γ Cep), tornando-se, a partir de cerca do ano 3000, a estrela visível a olho nu mais próxima do Pólo Celeste Norte. Depois dela, assumirão o posto ι Cep (em 5200), Alderamin (α Cep; em 6800), Deneb (α Cyg; em 8000), δ Cyg (em 11000), Vega, ι Her, σ Her, τ Her, Edasich (ι Dra), Thuban e, novamente, α UMi.

Já no hemisfério sul, já tivemos (e voltaremos a ter) representantes mais dignos. Por volta do ano -1000, a Pequena Nuvem de Magalhães estava a menos de um grau do Pólo Sul Celeste! Antes dela α Hyi e depois dela β Hyi já representaram o papel de indicadores polares. Em seguida, virão γ Cha, ω Car, Aspidiske (ι Car), etc. Quando o pólo norte estiver a quatro graus de Vega, o pólo sul estará a 8 graus de Canopus, fazendo de ambos os polos lugares brilhantes!

Se quiser ver todos esses fenômenos, use seu Stellarium! Basta colocar a grade equatorial, marcar a visualização como montagem equatorial (em vez de alto-azimutal), apontar para um dos pólos e acelerar o tempo!

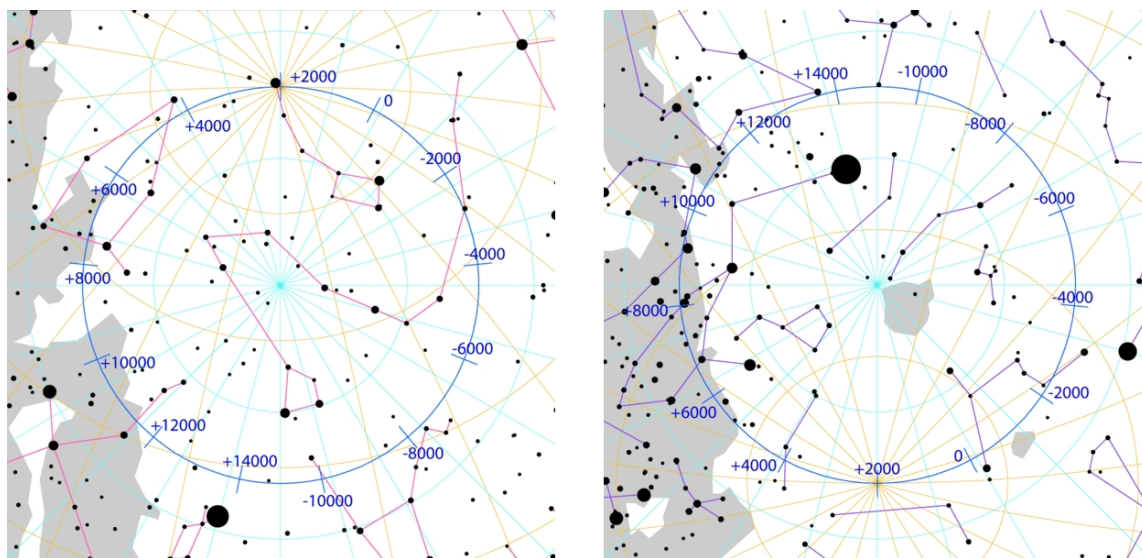


Figura 9.2: A precessão dos pólos Norte e Sul. Os círculos azuis representam o trajeto dos pólos celestes (Norte à esquerda e Sul à direita) as grades verdes são as eclípticas e as amarelas as equatoriais de hoje em dia. Fonte: Wikipedia.

- 97- **(IAO 98)** Por causa da precessão, o Ponto Vernal move-se vagarosamente no céu (aproximadamente 50" por ano). Ao longo de qual círculo ele se move: equador ou eclíptica?
- 98- Em quanto pode variar a declinação e ascensão reta de uma estrela com o movimento da precessão?
- 99- Em quanto a duração do ano é alterada por este movimento?

9.1 Nutação

O próprio ângulo de inclinação entre os dois eixos, $23^{\circ}26'$, também não é inalterável. Ao longo do movimento de precessão, o primeiro eixo vai oscilando “verticalmente”, mudando sua inclinação num movimento chamado de NUTAÇÃO. Se fôssemos ser mais precisos, teríamos desenhado círculos ondulados nas figuras acima. A oscilação, entretanto, é bem sutil, com uma amplitude máxima de 9,2 segundos de arco, em compensação, o período é bem menor que o da precessão – 6798 *dias*, ou aproximadamente 18,6 anos. Para observações precisas de posições estelares, entretanto, é mais uma correção a ser levada em conta.

Aqui entre nós, membros do CCD, aprendizes, obianos e etc., a comemoração de uma nutação de vida é um evento muito importante na vida de alguém; é a data que marca a entrada de alguém no mundo adulto. Expandindo ainda mais a idéia, podemos dizer que a vida de alguém é regulada pelas nutações pelas quais ela passa.

- A primeira (0 a 18,6 anos) é a fase de crescimento;
- A segunda (18,6 a 37,2), de amadurecimento;
- A terceira (37,2 a 55,8) de consolidação;
- A quarta (55,8 a 74,4) de produção e transmissão;
- Sortudos os que conseguem viver sua sexta e sétima nutações.

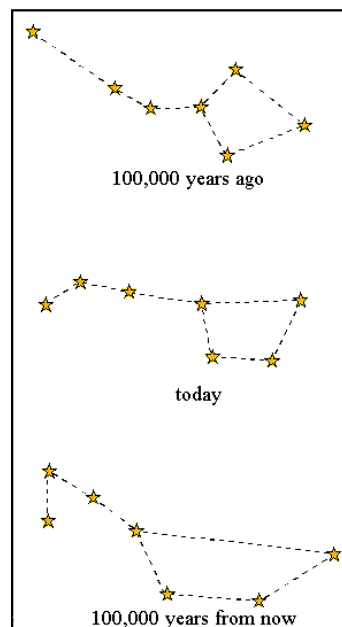
Capítulo 10

Movimento Próprio

O céu definitivamente não é imutável, como se pode supor. Há muitos objetos passageiros, temporários nele, que contrastam com as estrelas fixas. Falamos sobre isso no capítulo anterior. O que não falamos ainda é que as próprias estrelas fixas não são fixas! Em primeiro lugar, porque elas nascem e morrem. Em segundo, porque se movem! Seria aliás muito estranho esperar que, num universo infinitamente estendido como o nosso, todas as estrelas ficassem para sempre paradas.

Até agora, vimos somente movimentos das estrelas causados por movimentos da Terra. Justamente por isso, apesar de afetar as coordenadas das estrelas nos variados sistemas, esses movimentos não mudam suas posições relativas (como o movimento diurno ou a precessão) ou afetam todas as estrelas de maneira similar (como a paralaxe, em que todas as estrelas se movimentam na mesma direção). Isso faz todo sentido; se considerarmos que as distâncias das estrelas são muito grandes, seus movimentos reais no espaço causam uma diferença visível muito pequena para nós. Pequena mas não nula, contudo. Com o passar dos anos, as posições relativas das estrelas se alteram, mudando, por exemplo, a forma das constelações.

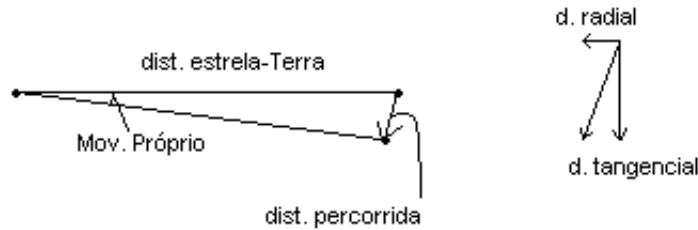
Figura 10.1: A Ursa Maior em três momentos distintos de sua vida: 100 mil anos atrás, hoje, e 100 mil anos no futuro.



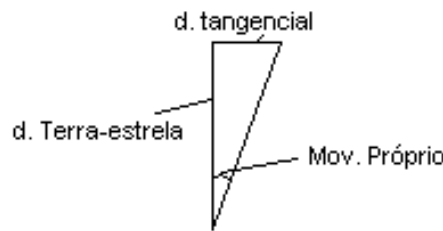
A esse movimento individual das estrelas na esfera celeste, causado pelos seus movimentos reais no espaço, damos o nome de MOVIMENTO PRÓPRIO. Como dissemos, esse movimento é muito pequeno, geralmente medida em segundos de arco por ano ($''/\text{ano}$). Para calcular seu

valor para um astro, deve-se medir a posição dele com o intervalo de um ano (evitando assim problemas com a paralaxe da estrela), corrigindo efeitos da precessão e similares.

Usando a mesma noção de mudança na posição angular, podemos, a partir do movimento próprio de uma estrela, estimar o valor de sua velocidade tangencial real. Veja a figura.



A partir disso, temos um triângulo (perceba que, assim como a paralaxe, o ângulo de deslocamento é chamado de movimento próprio):



Podemos, da mesma forma que fizemos um pouco acima, usar a definição de tangente:

$$\tan \mu = \frac{d_{tan}}{r}$$

Onde μ é o movimento próprio, d_{tan} é a distância tangencial percorrida e r é a distância Terra-estrela. Assim como a paralaxe, o movimento próprio é um ângulo muito pequeno, portanto temos que (lembrando que $d_{tan} = v_{tan} \cdot \Delta t$ e que $\Delta t = 1$ ano):

$$\mu_{rad} = \frac{v_{tan} \cdot \Delta t}{r} v_{tan} = \frac{\mu_{rad} \cdot r}{\Delta t}$$

Como a distância de estrelas é geralmente expressa em parsecs, caso não façamos mudanças de unidades, teremos a velocidade na desconfortável unidade de parsecs/ano, que não nos diz muita coisa. Transformando as unidades, chegamos a

$$v_{tan}(km/s) = 4,74\mu''r(pc),$$

ou, usando diretamente a paralaxe:

$$v_{tan}(km/s) = 4,74 \frac{\mu''}{\pi''}.$$

- 100- Quanto vale o movimento próprio diário do Sol?
- 101- Pesquise (ou calcule) a velocidade típica de um objeto do Cinturão de Oort Quanto deve ser seu movimento próprio?
- 102- A Estrela de Barnard é a segunda estrela com o maior movimento próprio do céu noturno, perdendo apenas para o Sol. Esta grandeza atinge para ela o valor de $10,25''/\text{ano}$. Sua paralaxe é de $0,546''$. Qual é sua velocidade tangencial à esfera celeste?
- 103- Vega tem uma velocidade radial de -14 km/s (ou seja, aproximando-se do Sol). Além disso, tem um movimento próprio de $0,348''/\text{ano}$ (comparar com o de cima!), e uma paralaxe de $0,124''$. Qual sua velocidade linear no espaço?
- 104- Sugira um modo de medir a velocidade radial de uma estrela. Se não conseguir pensar em nada, leia o Volume IV.

Unidade III

Não-Estrelas

Desde o início deste Volume, Hug-Bug já observou bastante do céu estrelado, em forma de cúpula, disposto sobre uma terra plana - que ele descobriu ser esférico depois das primeiras viagens mais longas que fez. Mas o céu não é só esfera e estrelas; há muito mais que o Hug-Bug podia ver. Há um grande e quente astro de fogo que regia a luz e a escuridão, sobre o qual também já vimos; há um segundo grande astro, com uma luz branca e pálida, que vai mudando de forma até sumir, e depois volta a crescer até retomar a forma redonda; algumas estrelas com uma luz mais sólida, errantes, que se movem entre as estrelas fixas; outros traços de luz que de vez em quando riscavam o céu: uns pequenos, que simplesmente passavam e desapareciam, outros maiores, que ficavam por muitos dias se movendo entre as estrelas, para depois desaparecer perto do Grande Astro; outros ainda maiores, os mais rápidos de todos, que desciam e subiam da Terra por um caminho longo e tortuoso, e prenunciavam grandes tempestades. Ou ainda as maravilhosas cores, tons vermelhos, verdes e amarelos, que sempre acompanhavam o Grande Astro quando ele sumia ou reaparecia no horizonte; ou, quando o Hug-Bug estava muito ao Norte ou muito ao Sul, luzes e cores que simplesmente tomavam, por horas, grandes áreas do céu.

Nesta unidade, nos dedicaremos a explorar melhor alguns desses objetos não-estelares do céu.

Capítulo 11

Lua

A Lua é Flicts.

Neil Armstrong

Comecemos nosso tour com o astro-irmão-mais-novo da Terra, seu apêndice: a Lua. Única grande fonte de luz no escuro assombroso da noite, com suas retrações e expansões de brilho, a Lua ocupa um papel absolutamente singular na relação entre Homem e Céu.

A cobra fálica, que muda de pele e desaparece durante parte do ano, e que, por conseguinte, é vista como morrendo e se regenerando, tornou-se em várias culturas diferentes a manifestação terrena da lua. Ídolos recuperados de lugares tão distantes como as culturas Panchan e Ngan-Yang da China neolítica e a civilização ameríndia de Calchaqui apresentam a serpente decorada com losangos, macho e fêmea combinados, símbolo do dualismo reintegrado e profeta potente da fertilidade. Outra criatura lunar era a aranha, cuja teia prateada e cíclica captura suas vítimas à imagem do destino (...). O touro, cujos chifres em forma de meia-lua são a própria imagem do astro, era sagrado para Nanna-Sin [o deus- lua sumério], ele próprio “um poderoso bezerro com chifres fortes”, “o novilho do céu”. A pérola era o amuleto deus Lua, a pequena lua refulgente dentro da vulva da ostra. No México pré-colombiano, o caracol, que, como a lua, exhibe e retrai seus chifres, era sagrado para a lua, como o urso na Europa da Era Glacial, que aparece e desaparece com as estações e é o ancestral da humanidade.¹

Diante disso, não é estranho que a Lua tenha sido, desde sempre, um dos astros mais estudados pelos seres humanos.

Os primeiros mapas detalhados da superfície lunar foram, provavelmente, os desenhadas e publicados em 1610 no *Sidereus Nuncius* (Mensagem das Estrelas) de Galileu Galilei, obtidas através do primeiro telescópio astronômico² A partir de suas observações, Galileu deduziu a existência na Lua de montanhas e mares, atmosfera, talvez florestas e cidades, animais e pessoas. Com isso, ele selou definitivamente a identidade da Lua como astro-irmão da Esfera Terrestre.

Na mesma época, Kepler escrevia um famoso romance em que se fala de viagens à Lua e a outros planetas XXXX - por isso, de certa forma, Kepler pode ser considerado um dos avôs da ficção científica. Desde então, muito se escreveu sobre as civilizações lunares; seus retratos eram ora de uma civilização espiritual, política ou tecnologicamente mais evoluída que a nossa, ora de povos degradados que se consumiram em suas próprias guerras, ora de nações muito similares

¹Thomas Cahill. *A Dádiva dos Judeus*. p. 66-67

²Para mais sobre o primeiro telescópio astronômico, ver Volume de Medidas.

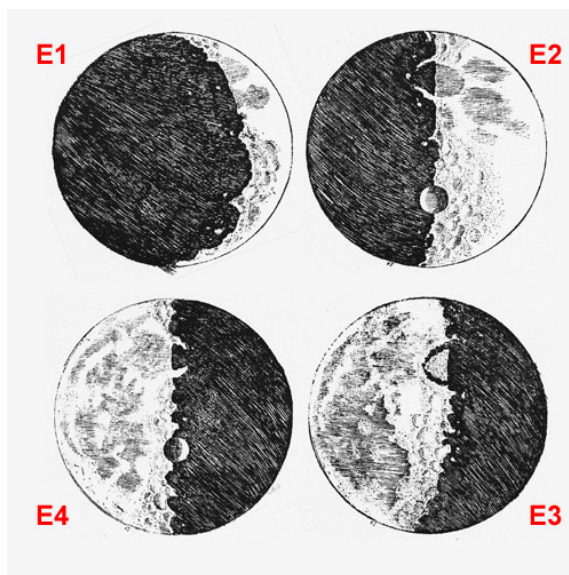


Figura 11.1: Desenhos da Lua no Sidereus Nuncius.

à Terra. Entretanto, a primeira viagem de fato ao nosso astro-irmão ocorreu apenas em 1969 (360 anos depois dos mapas de Galileu), com um resultado um tanto quanto decepcionante: apenas pedras e poeira foram conquistadas pela bandeira norte-americana.

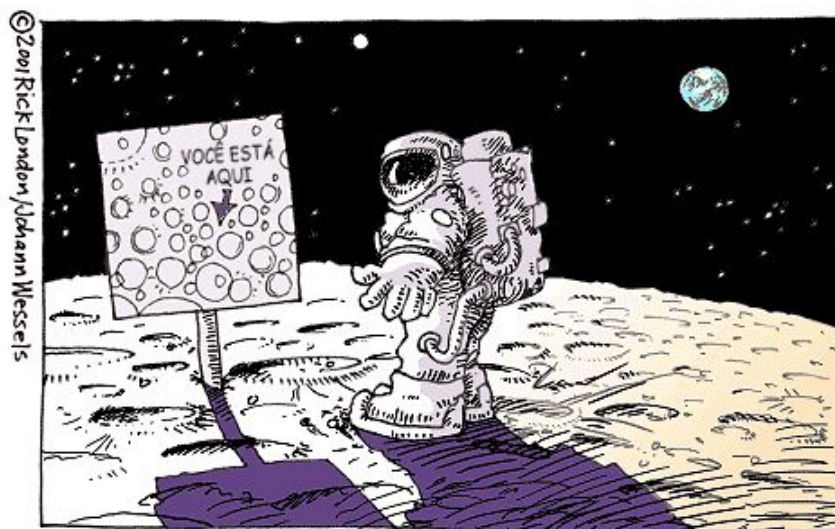


Figura 11.2: Astronauta na Lua.

11.1 Faces e Fases

Que a Lua gira em torno da Terra em uma órbita circular (ou quase circular), isso é sabido desde muito antes da época de Galileu. Diferente do que era de se esperar por esse esquema, entretanto, outro fato de conhecimento popular é que a Lua tem sempre a mesma face voltada para a Terra. A explicação, apesar de tudo, é simples: a Lua gira em torno de seu próprio eixo

com um período exatamente igual ao período de revolução dela na órbita. Com isso, conforme o astro vai avançando na circunferência, sua face vai se virando, de forma a sempre mostrar a mesma face para o corpo central. Por isso, a Lua é geralmente dividida em dois hemisférios: a FACE VISÍVEL e a FACE OCULTA.

Mas não confunda; isso é diferente de outra divisão em hemisférios que se costuma fazer da Lua: FACE ILUMINADA e a FACE ESCURA. Este aspecto não depende só da Terra e da Lua, já que a luz da Lua vem do Sol. Assim, a face iluminada muda com a mudança das posições relativas entre Lua e Sol, produzindo assim as FASES LUNARES.

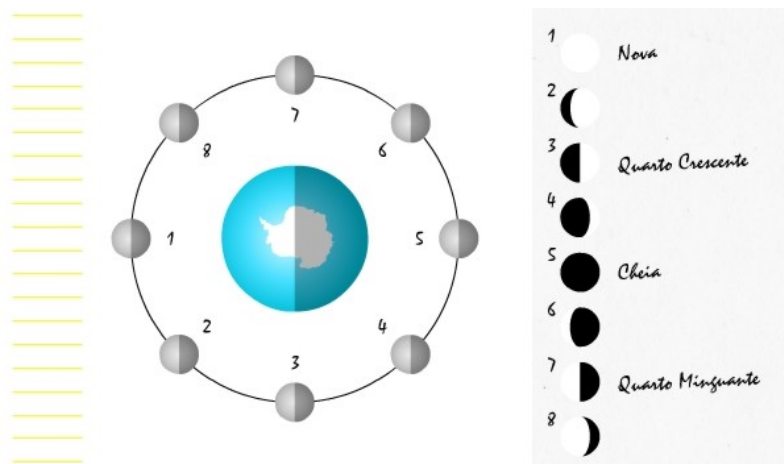


Figura 11.3: Fases da Lua.

11.2 Libração

Entretanto, com um grau de precisão um pouco maior, temos que levar em conta uma certa correção para o fato de que a Lua tem sempre a mesma face voltada para a Terra. Da forma como entendemos hoje, a órbita da Lua não é exatamente circular: é uma elipse com excentricidade muito baixa. Por isso, sua face voltada para a Terra não é sempre exatamente a mesma: é quase a mesma, mas com pequenas variações nas bordas. Esse balanceio da Lua, mostrando partes de sua face oculta, é chamado **LIBRAÇÃO**³. A figura a seguir esclarece o fenômeno:

A bola com a Antártida no meio é a Terra; a outra é a Lua - a cinza claro é a face visível; a metade cinza escuro, a face oculta. Indo do ponto A ao ponto B, a Lua percorre um quarto da área de sua órbita (repare que os triângulos cinza do desenho têm aproximadamente a mesma área). Como a velocidade com que essa área é percorrida é constante (Segunda Lei de Kepler), ela terá feito um quarto de rotação. Mas então a “face visível” estará, no desenho, “para baixo”; e será possível ver, da Terra, parte da face oculta, do lado direito da Lua! Aí ela volta a ficar com a face visível voltada para nós, e no ponto C vai ser possível ver outra parte da face oculta, dessa vez do lado esquerdo. Em outras palavras: sabemos que os períodos de rotação e de revolução da Lua são iguais, de cerca de 28 dias. Mas como a Lua percorre uma órbita elíptica, sua velocidade de revolução não é constante; e assim ela às vezes se atrasa ou adianta em relação à rotação - nesses casos, vemos um pedaço de sua face oculta. A libração chega a mostrar 7° 53' a mais da circunferência do equador lunar, de cada lado.

³ Sabemos da astrologia que *libra* significa balança; libração é o balanceamento da Lua, que ora vira um pouquinho pro lado, ora pro outro. Para uma boa animação (superposição de fotos) da libração lunar, ver http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Lunar_libration_with_phase_Oct_2007.gif

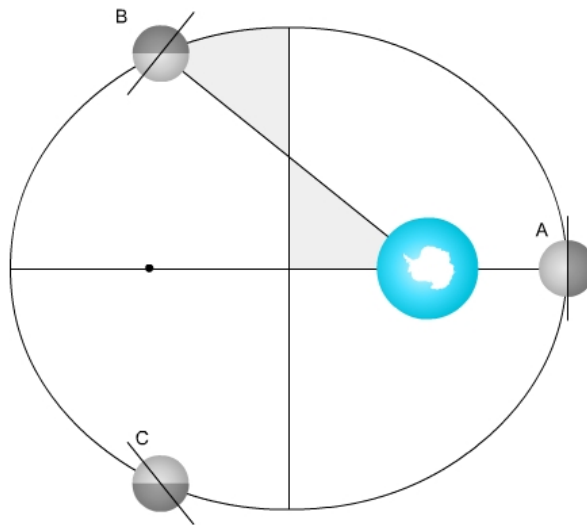


Figura 11.4: Libração. A face cinza-claro é a face visível; a cinza-escuro, a face oculta. Repare que não são exatamente sempre essas faces apenas que são visíveis.

Além dessa *libração em longitude*, existe ainda uma *libração em latitude*, ou seja, podemos ver partes da face oculta ao norte e ao sul. Esse efeito se deve à inclinação da órbita da Lua em relação ao equador, e tem uma amplitude de $6,5^\circ$ para o norte e para o sul. Claro que esses 8° pelos lados e 6° nos pólos, são bem pouco pra 180° de face oculta, mas é o suficiente para gerar efeitos interessantes. Por exemplo, sobre a observação da Terra por um observador lunar. É simples perceber que um observador na face visível da Lua verá a Terra no seu céu durante todo o tempo; um observador no meio da face oculta, por exemplo, nunca a verá. Mas o que observaria um observador que vivesse em alguma dessas zonas de libração?

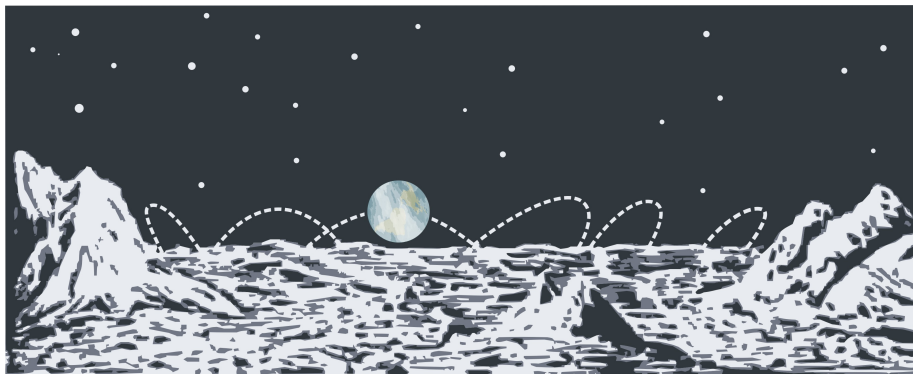


Figura 11.5: Movimentos da Terra no horizonte da Lua. De que longitude lunar é essa imagem? Fonte: Astronomia Recreativa

11.3 Eclipses

Um dos maiores e mais assustadores poderes da Lua é o de escurecer o Sol, que tudo fornece a nós. Embora com efeito impressionante, o fenômeno pode ser explicado com argumentos geométricos simples. Quando ocorre um alinhamento entre a Terra, a Lua e o Sol, pode ocorrer que um corpo entre no cone da sombra do outro. Quando isso ocorre, se você estiver no corpo que entrou na sombra verá o Sol ser encoberto pelo corpo que produziu a sombra. Esses são os chamados ECLIPSES.

Quando é a Terra que entre no cone de sombra da Lua, o eclipse é chamado de ECLIPSE SOLAR, pois estaremos vendo o Sol ser encoberto pela Lua. Quando é a Lua que entra no cone de sombra da Terra, o eclipse é chamado de ECLIPSE LUNAR, pois estaremos vendo a Lua ser encoberta pela sombra da Terra.

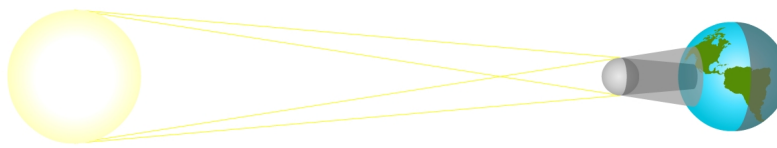


Figura 11.6: Eclipse Solar.

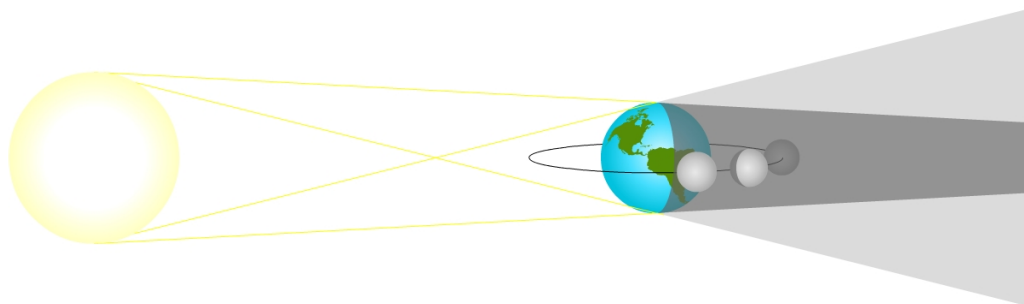


Figura 11.7: Eclipse Lunar.

Repare nas figuras 11.7 e 11.6 que existem duas regiões diferentemente iluminadas num eclipse. Em uma delas, a *Umbra*, o observador não consegue receber luz de nenhum ponto do disco solar. Na outra região, a *PENUMBRA*, o observador consegue receber luz de algum ponto da superfície solar, mesmo que de uma pequena região.

Na penumbra a quantidade de luz que o observador recebe não é uniforme, como acontece com a umbra, nela quanto mais próximo da umbra você está, menos luz irá receber, pois a área do Sol que é encoberta vai se tornando maior.

Duas informações agora são relevantes sobre a órbita da Lua:

- A órbita da Lua em torno da Terra está inclinada 5° em relação à órbita da Terra em torno do Sol;
- A órbita da Lua em torno da Terra também é uma elipse, e a Lua está 10% mais próxima no perigeu do que no apogeu⁴.

⁴ Todo satélite da Terra tem, em sua órbita, como pontos opostos, o perigeu, quando o objeto está mais próximo do

A primeira diz que, no céu, a Lua percorre um caminho que é muito próximo à eclíptica, mas não coincidente com ela. Repare: se a Lua estivesse sempre exatamente na eclíptica, teríamos um eclipse lunar a cada Lua Cheia, e um eclipse solar a cada Lua Nova. Esta pequena inclinação (que é grande comparada com o diâmetro do Sol e da Lua, ambos com cerca de meio grau de diâmetro angular) é o suficiente para fazer com que este fenômeno seja um pouco mais raro. Na verdade, a condição para que um eclipse ocorra é a de ambos os astros estarem próximos de um desses dois pontos em que Eclíptica e Órbita Lunar se cruzam - que chamamos de *nodos*.

Esses alinhamentos tríplexes entre Sol, Lua e Nodo Ascendente (ou Nodo Descendente) acontecem em uma certa sequência que se repete a cada 18 anos, 11 dias e 8 horas (ou 6585,3 dias), conhecida como **CICLO DE SAROS**. Esse ciclo foi conhecido na Mesopotâmia, bem como na astronomia hindu e na chinesa, independentemente. O nome Saros é a versão helenizada do que, na língua dos caldeus da mesopotâmia, significava *repetição*.

Em cada ano, ocorrem no mínimo dois (ambos solares) e no máximo sete eclipses (cinco solares e dois lunares, ou quatro solares e três lunares). Ao todo são 70 a 80 eclipses por Saros (contando as irregularidades secundárias). Repare que, como o período de Saros não corresponde a um número inteiro de dias, cada eclipse acontece 8 horas mais tarde e 120° de longitude mais a oeste que seu correspondente no ciclo anterior.



Figura 11.8: Eclipse Solar encobrindo a região britânica de Cornwall, vista da aposentada Estação Espacial MIR. Créditos: Jean-Pierre Haigneré, 11 de agosto de 1999.

A segunda informação relevante, da excentricidade da órbita, é o que faz os eclipses solares serem *totais* (quando o tamanho angular da Lua é maior ou igual ao do Sol) ou *anulares* (quando o tamanho do disco lunar é menor que o solar). Quando o eclipse não acontece nos nodos exatamente, então Sol e Lua não estão ambos na eclíptica, então eles podem se cobrir parcialmente.

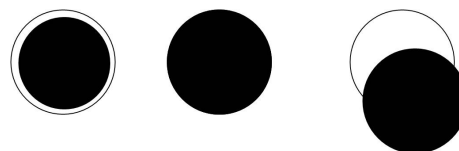


Figura 11.9: Esquemas de eclipses: Anular, Total e Parcial, da esquerda para a direita.

No caso, eclipses totais só podem ser observados da região do cone da umbra. No caso dos eclipses anulares, eles são observados no cone que se forma após a ponta do cone da umbra. Os planeta, e o apogeu, quando está mais distante. (Não se esqueça que a Terra ocupa um dos focos das elipses que são as órbitas dos satélites). Trataremos melhor dessas questões no Volume 2.

eclipses parciais são vistos a partir da região da penumbra.

Repare na foto 11.8, tirada pela Estação Espacial MIR. Nela é possível ver claramente uma região totalmente escura, no centro do eclipse. Nesta região temos o eclipse total. Nas regiões envolta da umbra, o eclipse observado é o parcial.

Face

- 105- Para um observador no Hemisfério Sul, se a parte convexa da Lua esta para o lado esquerdo, ela está crescendo ou minguando? E se a parte convexa estiver para o lado direito? No Hemisfério Norte isso também vale? Por que?
- 106- Se a Lua aparecer alta no início da manhã, ela está crescendo ou minguando? E se for no final da tarde?
- 107- É possível ver a Lua se pondo com a concavidade para cima, como um barquinho flutuando no horizonte? Se sim, em que horários e em que locais?
- 108- Por que a linha perpendicular à convexidade da Lua nem sempre parece apontar para o Sol? Desenhe uma situação em que seja esse o caso.
- 109- Que “fase da Terra” um habitante da Lua veria quando fosse Lua Cheia? E quando fosse Lua Nova?

Libração

- 110- Descreva o movimento do Sol e da Terra no céu da Lua.
- 111- Quais as variações máximas de declinação da Lua?
- 112- Qual a máxima altura que a Lua atinge em Manaus (3°S , 60°O) e em Porto Alegre (30°S , 51°O) ?
- 113- De quanto varia o azimute do local de nascimento da Lua, para alguém situado na Linha do Equador?
- 114- Em que lugar da Terra a Lua pode ficar mais tempo sem aparecer no céu?
- 115- O que é visto no céu lunar com mais frequência: a Terra ou o Sol?
- 116- No céu da Lua pode-se, usualmente, ver a coroa solar?
- 117- **(IAO 98)** Na Lua é possível observar eclipses solares, meteoros, cometas, auroras, arco-íris, nuvens noctilucantes e/ou satélites artificiais?

Eclipses

- 118- No eclipse solar, a Lua entra por que lado do Sol?
- 119- No eclipse lunar, a Lua entra por que lado da Sombra?
- 120- O que é mais freqüentemente visto de Salvador: eclipse solar ou lunar?

- 121- **(IAO 97)** Durante o eclipse total do Sol que ocorreu nas Ilhas Solovetz ($65^{\circ}01' \text{ N}$, $34^{\circ}45' \text{ E}$), às 5 horas do dia 22 de julho de 1990, o que veria um observador sentado na Lua, olhando para a Terra? Ilustre sua resposta com um desenho.
- 122- Deveríamos esperar que a Lua ficasse totalmente escura durante um eclipse lunar; mas o que geralmente acontece é que ela fica apenas avermelhada. Por que isso acontece?
- 123- Por que não ocorrem eclipses anulares da Lua?
- 124- Existe diferença entre o formato de foice da Lua em fases e o formato de foice do Sol em eclipse?
- 125- Durante um eclipse lunar, a Lua pode ocultar Júpiter? E Vênus?
- 126- Podem ser vistos eclipses lunares à meia-noite, em algum lugar?
- 127- Imagine que você esteja voltando para casa, às seis da tarde, e vê a Lua quase se pondo, o que indica sua proximidade com o Sol ? que também está a se pôr (em que fase ela está?). Apesar de quase nada dela estar sendo iluminada pelo Sol, nós vemos, bem fraca e cinza, o resto da Lua. Nesse caso, quem está iluminando a Lua não é o Sol, porque ele está iluminando só a borda voltada para ele, forte e branca. Esse fenômeno é conhecido como Lua Cinza. Como ele acontece?

Capítulo 12

Planetas

Quando descrevíamos os mitos gregos, no capítulo 2, falamos sobre o casamento entre os titãs Astræus e Eos, que deram origem aos seis *Astra Planeta*, que representavam as estrelas errantes do céu, junto com o Sol e a Lua. Eles eram chamados de errantes porque eram pontos brilhantes que não se moviam como as outras estrelas, mas passavam através delas.

Na cultura romana, herdeira de muitos aspectos da cultura grega, os planetas receberam nomes dos grandes deuses do Panteão, os correspondentes romanos dos deuses olímpicos. Assim, o rápido *Stilbon* tornou-se o mensageiro dos deuses Mercúrio (Hermes); os brilhantes e destacados *Eosforos*, que traz a aurora, e *Hesperos*, que traz o crepúsculo, foram identificados à deusa da beleza, Vênus (Afrodite); *Pyroeis*, vermelho e ardente em fogo, correspondeu ao deus da guerra, Marte (Ares); *Phaeton*, o flamejante, que reinava diversas noites, mais brilhante que todas as estrelas, era o rei dos deuses, Júpiter (Zeus); *Phainon*, o brilhante, que de todos era o menos errante, com seu brilho amarelo e sólido, foi identificado ao pai de Júpiter e deus do tempo, Saturno (Cronos).

Observacionalmente, os planetas podem ser diferenciados de estrelas por uma singela característica: eles não cintilam. Diferente das estrelas, cuja imagem fica variando ao sabor da atmosfera, oscilando e formando pontas, os planetas possuem uma luz mais sólida, firme. Isso acontece porque os planetas no céu são pequenos discos, enquanto as estrelas são pontuais.

Mas como assim, como as estrelas são pontos? Os planetas obedecem a uma lei aparentemente universal para lentes de aumento: quando aumentados, os objetos parecem maiores. Mas isso não ocorre com as estrelas; por mais que se aumente o diâmetro da lente de um telescópio, elas continuam aparecendo como pontos. Claro que esse comportamento estranho tem a ver com as aparências. Por mais que as estrelas sejam maiores que os planetas, elas estão muito, muito distantes; com isso, o tamanho angular deles é desprezível mesmo para os maiores telescópios já construídos. Sua imagem que vemos, na verdade, nada mais é que a mancha gerada pelos seus raios de luz quando passam pela perturbada atmosfera. Os planetas, ao contrário, são discos, que já com pequenas lunetas podem ser percebidos como tal. A cintilação dos planetas acontece só nas suas bordas, perturbando muito menos a imagem como um todo.

Falando em pequenas lunetas, é importante dizer que podemos ver coisas impressionantes nos planetas, quando olhamos para eles com binóculos ou lunetas.

Capítulo 13

Nebulosas

Enquanto os planetas são discos sólidos, as estrelas são discos piscantes. Quanto a isso, há ainda uma terceira categoria: de objetos que não se consegue definir nem como pontos, que são difusos, nebulosos, como uma fumacinha de poeira sobre o preto do céu.

Curiosamente, alguns dos primeiros estudos sistemáticos das nebulosas vieram de um canto diferente, dos astrônomos que estudavam cometas. Desde Tycho Brahe, os objetos cometários haviam sido reconhecidos como objetos que povoavam os céus (e não mais meros fenômenos atmosféricos); desde então, eles tiveram uma gigantesca importância, já que eles destruíram de vez as Esferas Cristalinas dos Planetas. A estirpe dos caçadores de cometas era alta, ainda mais com Halley, que descobriu um cometa periódico e apoiou a teoria newtoniana, descrevendo a órbita de um deles como uma parábola. Foi dessa forma que, em 1784, já na época de Herschel, foi lançado na França o *Catalogue Messier*, lançado pelo caçador de cometas Charles Messier. O objetivo era deixar marcados todos os objetos difusos do céu – chamados NEBULOSAS – para não confundir com cometas, o que devia acontecer com frequência. O *Catalogue Messier* possuía, originalmente, 103 objetos. Ver Apêndice C para mais detalhes.

Herschel mesmo lançou um catálogo desse tipo; mas como ele estava mais interessado diretamente nos objetos do que em tirá-los do caminho, seu catálogo tinha aproximadamente 2500 objetos, uma marca ainda assim assustadora! Seu filho John Herschel manteve o trabalho da catalogação do pai, viajando para o Hemisfério Sul para obter mais objetos. Juntando as suas descobertas às do pai, John publicou o *Generale Catalogue of Clusters and Nebulae*, em 1864. Duas décadas depois, em 1888, o também inglês John Dreyer, no rastro dos Herschel, lançou o *New Generale Catalogue of Clusters and Nebulae*, com 7840 nuvens catalogadas! O próprio Dreyer ainda lançou, em 1907 (já na época da crise quântica), um *Index Catalogue*, adicionando 5386 outros objetos. De qualquer forma, foi o New Generale Catalogue (NGC) que ficou famoso, e que é ainda hoje usado pela comunidade científica. O Messier (M), incomparavelmente menor, tem números bem mais fáceis de se memorizar, e possui todos os objetos mais brilhantes; por isso, é preferido pelos astrônomos amadores. Nos nossos textos, sempre que citarmos alguma nebulosa, colocaremos seus números dos dois catálogos.

De qualquer forma, os estudos das nebulosas por Herschel também entravam no apoio observacional ao modelo de Wright e Kant. Herschel publicou em 1784 (o mesmo ano do catálogo do Messier) um trabalho em que, marcando 500 diferentes nebulosas, resolvia 59 delas, ao telescópio, como imensos conjuntos de estrelas – da mesma forma que Galileu fizera com a Via Láctea, um século e meio antes. Assim, ficava ainda mais apoiada a idéia de vários universos-ilha espalhados pelo espaço.

Entretanto, algumas nebulosas, como a do Anel (M57, NGC 6720) e a Grande Nebulosa de Órion (M42, NGC 1976), não podiam ser resolvidas em pequenas estrelas nem com os melhores telescópios. O próprio Herschel abandonou a teoria dos Universos-Ilha, diante de nebulosas

não-resolvíveis como essas. Mas havia ainda um tipo particular de nebulosas não-resolvíveis que apareceriam mais tarde e traçariam uma história bem particular. Olhemos mais de perto para todos esses tipos.

13.1 Nebulosas Mesmo

As nebulosas não-resolvíveis são as mais merecedoras deste nome. Resistem aos melhores telescópios, irredutíveis aos conjuntos de estrelas em que a Via Láctea e outras nebulosas se decompunham. A alternativa a fazer imagens das nebulosas surgiu só no fim do século XIX: a possibilidade de tirar espectros delas¹. Os espectros foram fundamentais na discussão sobre a natureza das nebulosas (ver Volume V); para uma parte importante das não-resolvíveis, foi a chave para entendê-las como, de fato, *nuvens*: porções de gás flutuando pelo espaço. Essas nuvens são chamadas pelos astrofísicos de GÁS INTERESTELAR; para muitos, só elas herdaram o nome “nebulosas”.

O primeiro objeto do catálogo Messier, M1, é a conhecida *Nebulosa do Caranguejo* (Figura 13.1), na constelação de *Taurus*. Vista no telescópio óptico, M1 é uma nuvem mais ou menos simétrica, com vários filamentos saindo dela – filamentos que, em um desenho clássico, foram desenhados como patas, dando origem ao seu nome. Além do formato interessante, chamam atenção os registros observacionais antigos. Segundo as tabelas chinesas, num local que corresponde a algo próximo do centro da nebulosa, viveu, durante alguns meses de 1054 d.C., o que os chineses chamavam de estrela hóspede. Na linguagem astrofísica ocidental contemporânea, ocorreu uma supernova².

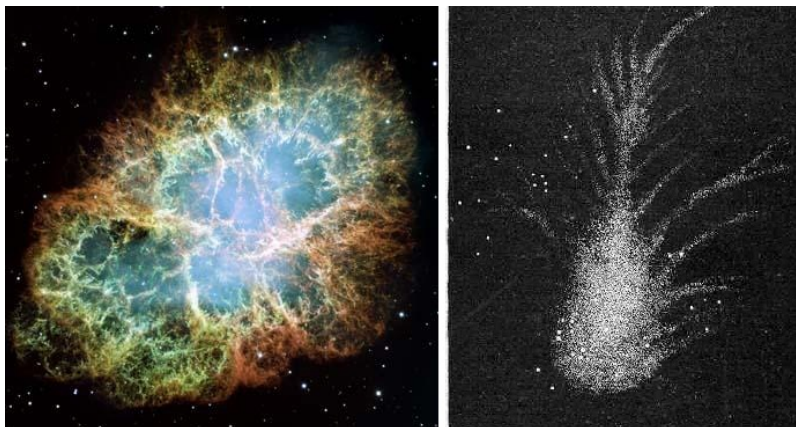


Figura 13.1: A Nebulosa do Caranguejo. À esquerda, em fotografia feita pelo Telescópio Hubble. À direita, no desenho feito por Lord Rosse que deu origem ao seu nome.

Pensando nisso, e observando novamente a foto, vemos que ela realmente parece uma “massinha pisada”, e dá pra imaginar claramente os filamentos como restos de uma explosão muito violenta. Essa nebulosa é o gás restante da estrela que explodiu, espalhado em uma nuvem com um diâmetro de 11 anos-luz e densidade de aproximadamente 1300 átomos por centímetro cúbico. Esse tipo de gás interestelar é conhecido como NEBULOSA RESTO DE SUPERNOVA. Hoje em dia conhecemos muitas outras nebulosas desse tipo, algumas das quais vocês terão que identificar no fim dessa lista.

Muito mais característico é o formato da nebulosa Abell 39. Ela é perfeitamente esférica!

¹Ver Volume IV

² Este capítulo contém referências a teorias de Evolução Estelar. Sobre isso, consulte capítulo homônimo no Vol IV.

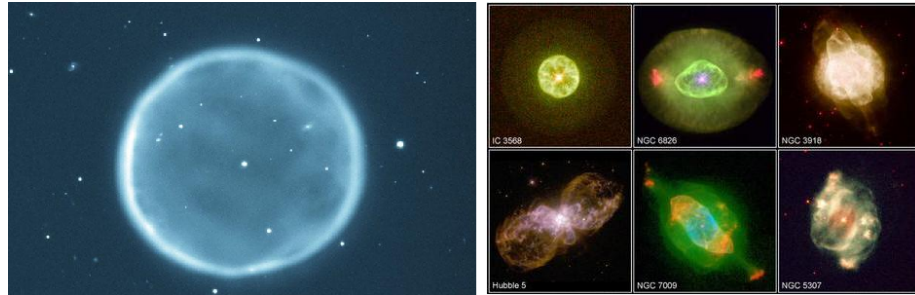


Figura 13.2: À esquerda Nebulosa Planetária Abell 39 e à direita algumas outras Nebulosas planetárias.

Nebulosas com esse formato foram por muitas vezes confundidas com planetas, de onde herdaram o nome pelo que ficaram conhecidas – NEBULOSAS PLANETÁRIAS. Com um formato desses, não podem ser meros ajuntamentos de gás; elas têm que ter origem em algum processo mais complexo. De fato, não se demorou a encontrar anãs brancas no centro dessas nebulosas; assim, elas passaram a ser encaradas como remanescentes da liberação das camadas superiores das estrelas, durante sua morte. O processo de formação de anãs brancas é bem mais suave que uma supernova, permitindo que o gás permaneça se expandindo esfericamente. Claro, nem sempre as formas são tão regulares, mas os padrões de simetria são claros.

128- Qual desses dois tipos acima de nebulosa deve conter mais massa: os restos de supernova ou as nebulosas planetárias?

129- A que você atribui o contorno bem definido da nebulosa Abell 39, vista na Figura 5?

Mas, afinal, de que tipo de gás são compostas as nebulosas? Provavelmente hidrogênio, já que é o gás mais abundante (e mais simples) do universo. De fato, estima-se que há muito hidrogênio neutro (HI) espalhado pelo espaço vazio, com temperaturas da ordem de 10 K, e densidade da ordem de 1 átomo de hidrogênio por centímetro cúbico!

130- Talvez você não tenha idéia de quão pouco é um átomo por centímetro cúbico. Então, vamos tentar calcular quantos átomos por centímetro cúbico há na nossa atmosfera, numa cidade ao nível do mar. Desde Dalton (vide Volume IV), sabe-se que num volume de 22,4 litros, nas CNTP³, há aproximadamente $6 \cdot 10^{23}$ moléculas de gás. Dessa forma, quantas moléculas há no ar por centímetro cúbico, ao nível do mar?

Prosseguindo nosso tour observacional, olhemos uma constelação bastante familiar a todos nós: *Orion*. Abaixo do cinturão do caçador podemos ver três estrelinhas alinhadas, mas... Olhe melhor, uma delas não parece mais estranha que as estrelas que normalmente vemos? Isso também intrigou antigos observadores do céu noturno, foi até sugerido que se tratava de uma estrela distante demais para ser bem focalizada por qualquer instrumento óptico conhecido. Messier incluiu esse objeto em seu catálogo, nomeando-o M42. Com instrumentos melhores, no entanto, percebeu-se que se tratava de uma figura de aspecto realmente nebuloso; mais que isso, notaram-se pequenos pontos luminosos em meio à nuvem.

Observe a figura 13.3, de que esses pontinhos brilhantes no pequeno trapézio ao centro o lembram?

³ Na linguagem química, CNTP indica *Condições Normais de Temperatura e Pressão*, e refere-se a um sistema sob pressão atmosférica ao nível do mar (1atm) e à 0oC (273 K).



Figura 13.3: A Grande Nebulosa de Órion.

Exato⁴! Se você leu atentamente o capítulo de Evolução Estelar⁵, já deve ter inclusive um palpite sobre o que é exatamente a nebulosa inteira.

131- Caso não tenha feito isto ainda, desenvolva uma hipótese sobre o que compõe M42, a *Grande Nebulosa de Órion*. Você espera que as estrelas nela sejam jovens ou velhas?

Além das estrelas centrais, o gás que as circunda também emite sua própria luz. Nebulosas com essa característica são conhecidas como NEBULOSAS DE EMISSÃO. É o caso também da Nebulosa Trífida, M20. Essa emissão apresenta linhas espectrais típicas de transições eletrônicas do hidrogênio ionizado para o neutro (captura de elétrons). Isso nos leva a crer que essas nebulosas de emissão se constituem, em uma parte significativa, de hidrogênio ionizado (HII), produzido por radiação ultravioleta. As temperaturas nas nebulosas de emissão chegam a cerca de 10.000K.

132- Que possíveis fontes de energia seriam responsáveis pela existência de nuvens de HII?

⁴ Em caso de dúvida: são estrelas, duh!

⁵ Se não leu não tem problema, não faz muita diferença aqui.



Figura 13.4: A Nebulosa da Trífida.

Nem toda nuvem, contudo, é formada por hidrogênio. Veja, por exemplo, a *Nebulosa da Cabeça da Bruxa* (IC 2118):



Figura 13.5: A Nebulosa da Cabeça da Bruxa, com Rigel à direita.

Numa primeira olhada, ela parece de emissão; olhe, no entanto, a foto da estrela próxima Rigel. São da mesma cor! Olhando mais detalhadamente, vemos que os espectros também são iguais! Nebulosas desse tipo são conhecidas como **NEBULOSAS DE REFLEXÃO**. Contudo, um gás simples dificilmente reflete luz; esse tipo de nuvem deve ser composto de outras substâncias. Em nebulosas desse tipo, os materiais principais são grafite (carbono), silicatos e gelo - genericamente chamados de *poeira interestelar* (contrastando com o *gás interestelar* das outras). A densidade das nuvens de poeira é tão baixa quanto a das de gás, coisa da ordem de 100 grãos por quilômetro cúbico.

Um tipo particular de nebulosa de reflexão é representado pela *Nebulosa do Saco de Carvão*. Essa nebulosa é uma região escura do céu, logo a sudeste do Cruzeiro do Sul; seu material é muito pouco transparente, formando uma barreira para a luz. Nebulosas desse tipo, subgrupo das de reflexão, são conhecidas como NEBULOSAS ESCURAS. A Nebulosa do Saco de Carvão não está no catálogo Messier; ela nunca seria confundida com um cometa e, pela sua latitude, provavelmente sequer era conhecida pelo astrônomo do catálogo. Entretanto, era um objeto notável no céu dos grupos indígenas brasileiros; para muitos, ela era a cabeça negra da enorme constelação da Ema. Para os aborígenes australianos, era a cabeça de uma avestruz.



Figura 13.6: Foto do céu mostrando parte da constelação *Centaurus* e *Crux*, com a Nebulosa do Saco de Carvão logo a Sudeste da cruz.

Devido ao tamanho, as partículas de poeira espalham mais a luz com comprimento de onda menor, o que faz com que as nebulosas de reflexão sejam mais azuladas. Mas faz também com que as estrelas que estejam na direção da nuvem (desde que estejam atrás dela, é claro) pareçam mais vermelhas do que realmente são, pois a luz azul vinda das estrelas é mais desviada. Este efeito é conhecido como *avermelhamento interestelar*. O mesmo efeito acontece no pôr-do-sol, quando a luz do Sol atravessa uma camada maior de atmosfera até chegar a nós e, assim, a poluição do ar, o oxigênio e a poeira desviam ainda mais sua luz azul, tornando-o mais avermelhado. A Lua também sofre efeito semelhante quando está nascendo ou se pondo.

13.2 Aglomerados

Vamos agora às nebulosas resolvíveis, que deixaram de ser chamadas nebulosas, passando à categoria de aglomerados. Começamos com uma “estrela” meio difusa, de quarta magnitude, no dorso da constelação de *Centarus*. Ela foi nomeada por Johan Bayer (o homem da nomeação das estrelas) como ω *Centauri*. Mas vejamos com uma imagem ampliada por um telescópio pequeno:

Figura 13.7: ω Centauri

Como se observa na figura, o objeto é claramente um grande amontoado de estrelas, milhões delas para falar a verdade, espalhadas por um diâmetro de quase 200 anos-luz e apenas distanciadas entre si por cerca de 0,1 ano-luz no centro do aglomerado. Assim, há uma forte interação gravitacional entre elas, que mantém o conjunto coeso. Há pouco gás interestelar e as estrelas são bem vermelhas, e portanto velhas. Encontramos alguns grupos semelhantes a ω Centauri, todos com pouco ou nenhum gás e pelo menos alguns milhares de estrelas, já idosas. Por seu formato esferoidal, eles são chamados de AGLOMERADOS GLOBULARES. O aglomerado em Centauro é o mais brilhante dessa classe, e peculiarmente apresenta várias gerações de estrelas.

Mas existem outros tipos bem diferentes de aglomerados de estrelas, que não estão juntas necessariamente por gravidade. O mais destacado fica no parente menos humanizado do *Centaurus*. As Plêiades (M45), figura 13.8, um dos dois padrões mais característicos de *Taurus*. Entre alguns grupos indígenas brasileiros, elas são conhecidas como *Eixu*, o ninho de abelhas.



Figura 13.8: As Plêiades.

A razão pela qual as Plêiades aparecem no Catálogo Messier é estranha, já que dificilmente qualquer um com mais de dez anos de idade confundiria, a olho nu, esse conjunto com qualquer cometa. As Plêiades sequer são vistas com aspecto nebuloso a olho nu. Há aproximadamente 500 estrelas no conjunto, sete das quais se destacam no céu. Note a coloração das estrelas, elas são bem azuladas, ou seja, devem ser muito jovens. Perceba também que elas estão envoltas numa mesma nuvem molecular gigante, de cujo gás parecem se formar.

Aliás, a formação estelar é intensa e cria as conhecidas regiões HII. A própria morte de estrelas deve criar ondas de pressão que induzem a formação de novas destas. As estrelas estão aí juntas por terem se originado de uma nuvem de gás comum, e se encontram mais dispersas que nos aglomerados globulares. Pelo fato de os corpos estarem mais “livres”, objetos desse tipo são denominados AGLOMERADOS ABERTOS e costumam apresentar bem menos estrelas, centenas ou dezenas delas.

Taurus apresenta ainda outro padrão muito característico: Híades, o aglomerado aberto mais próximo de você⁶. Suas principais estrelas formam no céu um distinto V de uns 4°, incluindo Aldebaran em uma das pernas do V. Mas alfa tauri, muito mais brilhante que todas as híades, não faz parte do aglomerado.

133- Que tipo de aglomerado pode ser encontrado no centro da Grande Nebulosa de Órion?

13.3 Espirais

Em 1845, usando o primeiro telescópio maior que o maior de William Herschel, o irlandês William Parsons, *Lord Rosse* (o mesmo da Nebulosa do Caranguejo), fez um surpreendente desenho da nebulosa M51 (depois conhecida como *Galáxia do Redemoinho*):

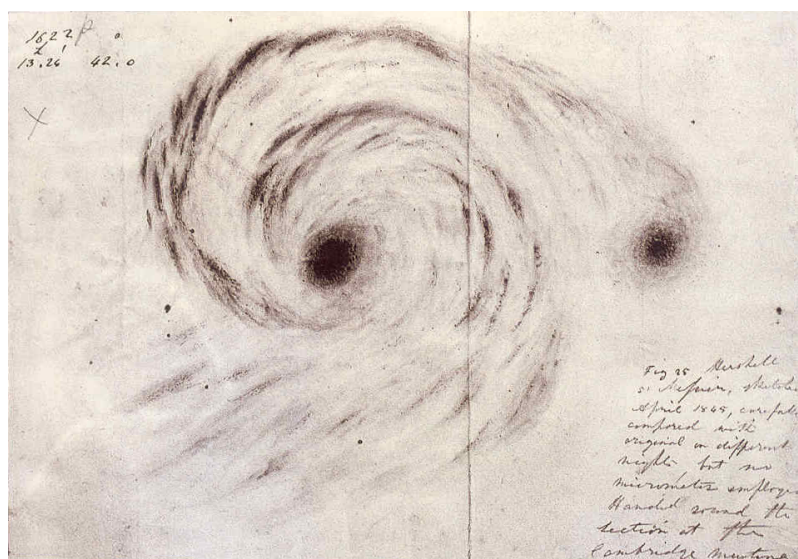


Figura 13.9: Desenho de Lord Rosse representando a Galáxia do Redemoinho.

Era uma nebulosa em forma de espiral! E não foi a única: o próprio Lord Rosse descobriu uma ou duas dezenas de nebulosas espirais, e assim o fizeram outros depois dele. Um tipo muito particular de nebulosa, não-resolvível, surgia. No fim daquele século, com a invenção da fotografia e, mais especificamente, da astrofotografia, a própria Nebulosa de Andrômeda (M31 ou NGC 224) também foi descoberta uma espiral. Mas Andrômeda possui duas “nebulosas-satélite”; quando se observou isso, a hipótese dominante passou a ser que M31 era um sistema solar em formação!

Entretanto, o debate contra a hipótese de Andrômeda ficar fora da Galáxia permaneceu. Ele só foi resolvido em 1922, quando um colega de Shapley no gigantesco Observatório Mount Wilson,

⁶A não ser, é claro, que você esteja sentado em outra parte da Via-Láctea, ou em outra galáxia, e, nesse caso, o CCD ficaria muito feliz em receber comentários sobre os textos. Nossos radiotelescópios estão atentos!



Figura 13.10: Da esquerda para direita: A Nebulosa de Andrômeda e destaques para duas de suas companheiras, M32 e M110, respectivamente.

Califórnia, chamado Edwin Powell Hubble (ainda falaremos muito dele), achou cefeidas em M31. Essas cefeidas davam uma distância de 285.000 pc para a nebulosa, muito maior que qualquer estimativa de tamanho para a Via Láctea. E mais: sabendo a distância da nebulosa e observando seu diâmetro angular, podia se estimar seu diâmetro real, que seria de... 20 000 pc – dois terços do diâmetro da Via Láctea inteira!!! Era a primeira Outra Galáxia definitivamente confirmada⁷!

Entretanto, nem todas eram morfologicamente como M31. As nebulosas-satélite de Andrômeda (M32 e M110), sendo satélites, também deviam ser galáxias; não obstante, elas não apresentavam o padrão espiral.

Galáxias como essas são chamadas de GALÁXIAS ELÍPTICAS, por seu formato. Além disso, caracterizam-se também por apresentarem muitas estrelas velhas, pouca poeira e gás escasso. Encontramos elípticas de muitos tamanhos, desde poucos milhares a milhões de anos-luz de diâmetro. As elípticas gigantes, que têm massas de até 10 trilhões de massas solares, são raras, mas as elípticas anãs são o tipo mais comum de galáxia. Acredita-se que *ω Centauri*, por exemplo, era na verdade o núcleo de uma galáxia anã capturada pela Via Láctea.

Galáxias como Andrômeda e a Via Láctea, analogamente, são chamadas de GALÁXIAS ESPIRAIS, sendo formadas por estrelas tanto jovens quanto velhas. Apresentam diâmetros que variam de 5.000 a mais de 25.000 parsecs, e estima-se que suas massas variam de 10 milhões a 10 trilhões de vezes a massa do Sol (10^{10} a $10^{13} M_{\odot}$).

Dentre as espirais, passou ainda a ser bastante freqüente um grupo particular, ao qual pertence NGC 1300:



Figura 13.11: A galáxia NGC 1300.

⁷ Os valores aceitos hoje são na verdade de 775 ± 22 kpc para a distância à M31 e de 43 ± 1 kpc para seu diâmetro. Hubble, quando fez seus cálculos, confundiu Cefeidas e variáveis W Virginis (semelhantes à Cefeidas, mas pertencendo à população II de estrelas) errando por um fator maior que dois, mas ainda assim estando coerente quanto à ordem de grandeza.

Elas possuem uma barra que a atravessa, passando pelo seu núcleo e se desenvolvendo em braços espirais; por essa razão, são chamadas de GALÁXIAS ESPIRAIS BARRADAS. Hoje se acredita que a barra surge depois da formação da espiral, em resposta a alguma perturbação gravitacional externa (como uma galáxia companheira, por exemplo). Ou ela pode ser formar simplesmente como consequência da distribuição assimétrica da matéria no disco galáctico.

Além desses formatos característicos, existe uma grande variedade de formas de galáxias, sem simetria circular ou rotacional evidente. Veja, por exemplo, a Pequena Nuvem de Magalhães:

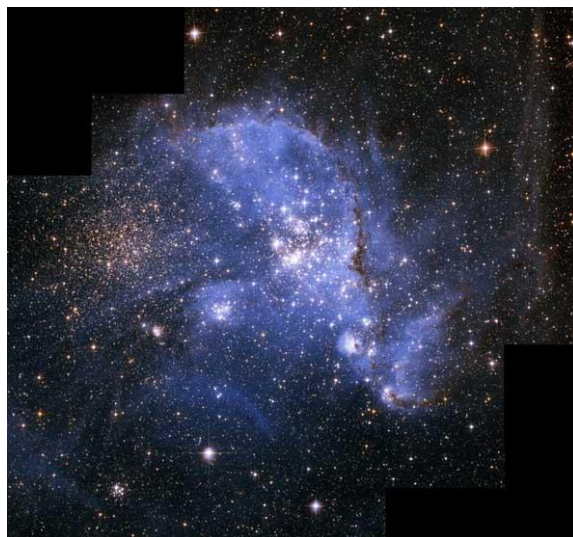


Figura 13.12: A pequena Nuvem de Magalhães.

Galáxias desse tipo são genericamente denominadas GALÁXIAS IRREGULARES. Essa última e a Grande Nuvem de Magalhães são provavelmente os exemplos mais ilustres. Em termos de composição, as galáxias irregulares lembram as espirais pela presença de um disco de gás e pelo seu conteúdo estelar, que inclui estrelas jovens e velhas.

Foi Hubble que, em 1936, propôs esse sistema de classificação morfológica de galáxias, dividido em quatro grupos, que é usado ainda hoje. Ademais, na classificação de Hubble, as Espirais se subdividem em Sa, Sb e Sc, para as comuns e SBa, SBb e SBc para as barradas (*a* – braços pequenos e bem enrolados, núcleo grande; *c* – braços grandes e mais abertos, núcleo pequeno). Já as elípticas subdividem-se nos grupos E0 a E7, de acordo com o seu grau de achatamento. Assim, uma galáxia de excentricidade em torno de 0,5 é do grupo E5. O curioso é que a classificação só vai até E7, provavelmente porque galáxias com excentricidade maior que 0,7 seriam muito instáveis. Em todo caso, é importante observar – e isso é uma forte crítica a essa classificação – que essa classificação se baseia na forma *aparente* da galáxia, como a vemos aqui da Terra; não no formato verdadeiro⁸.

Finalmente, como intermediário entre os dois tipos principais (espirais e elípticas), estão galáxias que apresentam disco, núcleo e halo, mas não possuem estrutura espiral, chamadas de GALÁXIAS LENTICULARES e representadas por S0. A classificação de Hubble pode ser esquematizada na seguinte forquilha, idealizada por ele:

Assim, a Galáxia de Andrômeda pode ser classificada como Sb, M32 como E2 e M110 como E5.

⁸ Imagine uma bola de futebol americano, vista de duas formas: Primeiro, de lado, parecendo uma elipse bem achatada. À medida que se vai virando a mesma, de modo a ter-se sua “ponta” apontando pra gente, ela vai se tornando menos excêntrica, até parecer um círculo quando vista na direção do seu eixo maior. Assim, uma bola de futebol americano, embora tenha excentricidade em torno de 0,6 seria classificada como uma bola E1, se vista pela ponta.

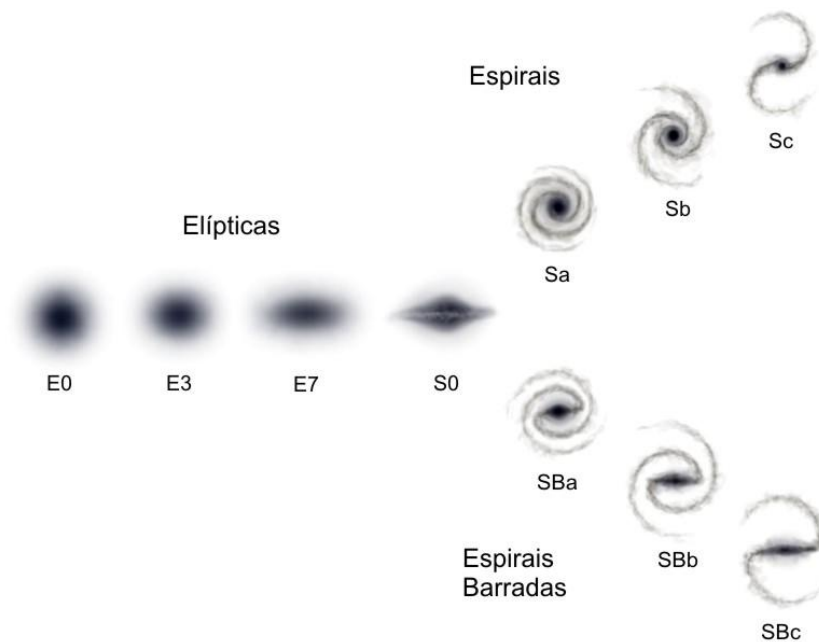


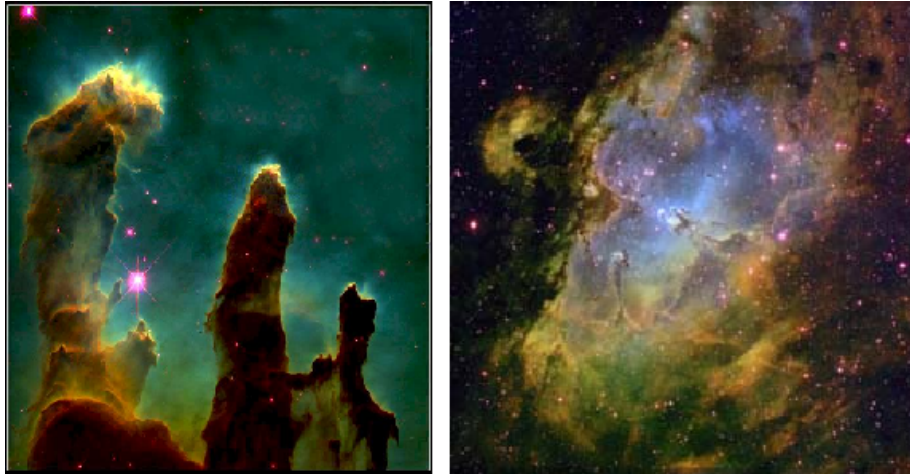
Figura 13.13: A Classificação Morfológica de Galáxias segundo Hubble.

- 134- Porque as galáxias elípticas são mais vermelhas que as espirais?
- 135- Sabemos que, como os planetas em torno de uma estrela, as galáxias não colapsam porque suas partes orbitam o núcleo. Mas as galáxias elípticas não têm rotação aparente. Então porque elas não colapsam?
- 136- **(IAO 2005)** Astrônomos encontram uma "estrela" de tipo espectral A0, cuja posição no diagrama Hertzsprung-Russell é de aproximadamente $-7\text{mag} \sim -8\text{mag}$! Isto é, muito acima da sequência principal. Considere que essa "estrela" seja um aglomerado que consiste de muitas estrelas idênticas e estime o número possível de estrelas no aglomerado.
- 137- Na páginas seguinte você pode ver uma bela foto da Galáxia do Redemoinho (aquela desenhada por Lord Rosse), também conhecida como M51a ou NGC 5194, ao lado de uma companheira sua (acima, à direita):



Classifique cada Galáxia e, em seguida, diga o que são os pontinhos vermelhos em M51a, atentando para sua posição relativa aos braços da galáxia.

- 138- Abaixo e à esquerda você pode ver uma foto da Nebulosa da Águia (M16, NGC 6611, IC 4703), localizada na constelação *Serpens*; à direita está um detalhe da parte central da nebulosa:



Que tipo(s) de nebulosa(s) você consegue identificar nas fotos? Que objetos você acha que estão dentro das colunas vistas no detalhe?

- 139- Procure imagens dos seguintes objetos e tente descobrir, apenas por elas, de que se tratam:

- (a) M 7 (NGC 6475):
- (b) M 15 (NGC 7078):
- (c) M 40 (não tem NGC):
- (d) M 44 (NGC 2632):
- (e) M 49 (NGC 4472):
- (f) M 63 (NGC 5055):
- (g) M 105 (NGC 3379):
- (h) M 97 (NGC 3587):

- 140- Escolha um objeto do catálogo Messier, e o observe a olho nu. Anote seu número de catálogo, e todos os demais dados que você tenha observado e queira anotar. Leve as anotações para algum telescópio, aponte para ele e divirta-se!

Capítulo 14

Via Láctea

Entre as nebulosas, há uma bem grande, conhecida pelo Hug-Bug: uma grande faixa branca, leitosa, atravessando o céu de lado a lado, menos concentrada em algumas regiões, mais em outras. Os gregos chamaram essa faixa de *Gala Axias* (*gala*, leite, o mesmo radical de galactose; *axias*, eixo), que tem a mesma metáfora inspiradora do termo latino *Via Lactea*, o Caminho de Leite.

Com seu óculo-de-alcance, Galileu conseguiu distinguir pequenos pontinhos nesse tapete brilhante, dizendo que esse caminho de leite se tratava uma concentração muito grande de estrelas:

O que observamos em terceiro lugar foi a natureza e o caráter da própria Via Láctea, que pude examinar com os sentidos graças ao óculo, dirimindo assim, com a certeza que dão os olhos, todas as controvérsias que têm atormentado durante tantos séculos os filósofos e liberando-os das disputas verbais. A Galáxia não é pois outra coisa que um conglomerado de inumeráveis estrelas reunidas em nuvens. A qualquer região que se dirija o óculo, imediatamente se apresenta à vista uma enorme quantidade de estrelas.

Dito de outra maneira: as estrelas não estão distribuídas aleatoriamente no céu, mas concentradas quase todas em uma faixa estreita da esfera celeste. Um século e meio mais tarde, em 1750, o inglês Thomas Wright escreveu um trabalho sobre isso, *Original Theory of the Universe*, que influenciou bastante o livro de 1755 de Immanuel Kant, um dos maiores filósofos da história. O livro de Kant, com uma abordagem mais filosófica, pretende dar conta da origem e da constituição do universo. Lembre-se: o Principia do Newton foi publicado em 1687, quase 70 anos antes disso! Ou seja, na época em que Wright e Kant escreveram, a mecânica newtoniana já estava em seu auge; a construção de Kant tem a mecânica e a gravitação como princípios fundamentais.

Com relação às estrelas, o autor as admite como grandes esferas luminosas, semelhantes ao Sol, e imagina perfeitamente muitos outros sistemas solares em torno delas, ao longo do universo. É uma visão bem parecida com a que Giordano Bruno defendia anos antes de Galileu:

Não somente um Sol, mas incontáveis universos solares; não uma só terra, em um único mundo, mas duzentos mil, digo, em infinitos mundos.

No entanto difere em um ponto fundamental – precisamente no ponto de incluir uma explicação para as estrelas da Via Láctea. Assim, à semelhança do Sistema Solar, ele imagina que as estrelas se distribuem em um plano preferencial que, projetado na Esfera Celeste, representaria a Via Láctea. O Sol, sendo uma estrela, também estaria nesse plano. Claro que haveria estrelas fora do plano, que são as estrelas que vemos fora da Via Láctea. Em resumo, algo similar à seguinte figura:



Figura 14.1: NGC 4594, usada como modelo para a concepção de Galáxia de Kant.

Para ser de acordo com a teoria newtoniana, Kant ainda adiciona outro postulado: a Via Láctea teria que estar em rotação! Sem isso, sem força centrífuga, pela ação da gravidade mútua, as estrelas colapsariam. Mas Kant foi ainda mais longe: da mesma maneira que existiam várias estrelas, deveriam existir várias Vias Lácteas, à semelhança daquela em que estamos. Cada uma dessas galáxias, isoladas, funcionaria como um universo autônomo (da mesma forma que cada estrela possuiria um sistema autônomo de planetas), como um *universo-ilha*. E adivinhe: que objetos do céu foram tomados como essas outras galáxias? As nebulosas! Foi assim com a Nebulosa de Andrômeda, com as Nuvens de Magalhães, etc.

Nessa época, Wilhelm Herschel ainda era um jovem músico em Hannover, que se mudaria em breve para a Inglaterra por causa da Guerra dos Sete Anos. Ele se tornaria um dos mais virtuosos astrônomos observacionais da Europa Moderna, comparável ao célebre Tycho Brahe. Como Brahe fora famoso pelos seus instrumentos muito precisos para a astronomia de posição, Herschel se tornaria famoso em seu tempo pela grande qualidade das suas lentes e seus telescópios.

Herschel deu contribuições bastante diversas à astronomia; a mais famosa foi certamente a descoberta de Urano, em 1781. Entretanto, com relação à galáxia, sua contribuição foi desenvolver observacionalmente as idéias teóricas de Kant. Ele usou, pela primeira vez, um método estatístico em astronomia, deixando felizes os fãs dos capítulos de gráficos e tratamentos de dados. O método é simples e parte de uma suposição ainda mais simples: em larga escala, as estrelas se distribuem uniformemente no céu. Assim, ele dividiu todo o céu (ou a parte dele visível na Inglaterra) em 683 regiões, cada uma com área aproximada de um quarto da Lua Cheia, área que ele podia fazer caber numa imagem de seu telescópio. Em cada uma dessas áreas, ele contava todas as estrelas que poderia ver em seu telescópio; assim, supondo as estrelas distribuídas uniformemente no céu, quanto mais estrelas houvesse numa dada área, maior seria a porção de galáxia naquela direção.

Trabalhando dessa forma, ele fez um mapa para o nosso universo-ilha em 14.2. Como todo trabalho observacional, o de Herschel dava espaço para muitas controvérsias sobre os detalhes do método experimental usado. Hoje, a principal crítica observacional que se faz ao modelo do Herschel é que ele não fazia idéia da existência de *gás interestelar*, que pode absorver e reemitir muito da luz das estrelas que chegaria até nós. Assim, por exemplo, o GRANDE vazio à esquerda, entre os dois braços maiores, deve-se a uma grande nuvem de gás escura, que absorve a maior parte da luz das estrelas atrás dela, tornando-as parcial ou totalmente invisíveis.

141- Em que constelação está essa nuvem de gás?

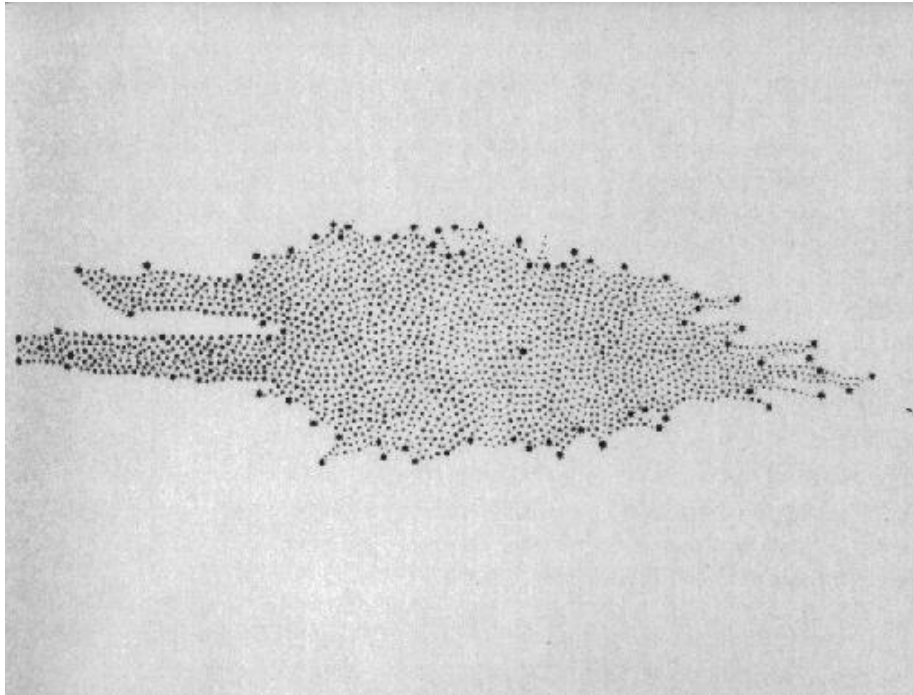


Figura 14.2: A Galáxia segundo Wilhelm Herschel. O ponto preto perto do centro é o Sol.

Mas isso não diminui a qualidade do trabalho de Herschel; pelo contrário, o fato de ser um trabalho amplamente criticado e debatido só mostra o quanto ele foi relevante para o trabalho científico. As técnicas estatísticas iniciadas por Herschel fizeram grande sucesso, em sucessivas novas análises. Em 1785, o primeiro modelo proposto por Herschel tinha 1800 pc de diâmetro, mas em 1806 ele próprio aumentou o diâmetro estimado para 6000 pc. A culminação desses trabalhos veio mais de um século depois, em 1912, no chamado *universo de Kapteyn*. Segundo esse modelo, a Galáxia teria a forma de uma lente, com diâmetro maior que aproximadamente 17.000 pc! Nesse modelo, o Sol continuava bastante perto do centro – a apenas 700 pc dele, sendo mais exato.

Então houve um grande debate sobre a natureza das Galáxias. A continuação da história fica para o Volume V.

Unidade IV

Apêndices

Apêndice A

Constelações da IAU

A lista das 88 constelações oficiais da IAU, em ordem alfabética. No nome latino, aparece entre parênteses a terminação do nome no caso genitivo. O caso genitivo é usado para indicar posse, como o 's em inglês (p. ex.: alfa do aquário se escreve α *aquarii*).

ABREV.	LATIM (-GEN.)	PORTUGUÊS	HEM.	PRINCIPAIS ESTRELAS
And	Andromeda (-dæ)	Andrômeda	N	Alpheratz, Mirach, Almaak, Adil
Ant	Antlia (-iæ)	Máquina Pneumática	S	
Aps	Apus (-podis)	Ave do Paraíso	S	
Aqr	Aquarius (-rii)	Aquário	S	Sadalmelik, Sadalsuud, Sadalachbia, Skat, Albali
Aql	Aquila (-læ)	Águia	N-S	Altair, Alshain, Tarazed, Deneb el Okab
Ara	Ara (ræ)	Altar	S	
Ari	Aries (-ietis)	Carneiro	N	Hamal, Sharatan, Mesarthim, Botein
Aur	Auriga (-gæ)	Cocheiro	N	Capela, Menkalinan, Al Anz, Hoedus II, Hassaleh
Boo	Boötes (-tis)	Boieiro	N	Arcturus, Nekkar, Serginus, Izar, Mufrid
Cae	Caelum (-li)	Buril	S	
Cam	Camelopardus (-dalis)	Girafa	N	
Cnc	Cancer (-ncri)	Caranguejo	N	Acubens, Altarf, Asellus Borealis, Asselus Australis
CVn	Canes Venatici (-ticorum)	Cães de Caça	N	Cor Caroli, Chara
CMa	Canis Major (-ris)	Cão Maior	S	Sirius, Murzim, Muliphen, Wezen, Adara
CMi	Canis Minor (-ris)	Cão Menor	N	Prócion, Gomeisa
Cap	Capricornus (-rnii)	Capricórnio	S	Prima Giedi, Secunda Giedi, Dahib, Nashira
Car	Carina (-næ)	Quilha	S	Canopus, Miaplacidus, Avior, Turais
Cas	Cassiopea (-peæ)	Cassiopéia	N	Schedar
Cen	Centaurus (-ri)	Centauro	S	Rigil Kentaurus, Agena, Menkent
Cep	Cepheus (-ei)	Cefeu	S	Alderamin
Cet	Cetus (-ti)	Baleia	S	Menkar, Difda, Kaffaljdhma, Baten Kaitos

ABREV.	LATIM (-GEN.)	PORTUGUÊS	HEM.	PRINCIPAIS ESTRELAS
Cha	Chamaeleon (-ntis)	Camaleão	S	
Cir	Circinus (-ni)	Compasso	S	
Col	Columba (-bæ)	Pomba	S	Fact, Wezn
Com	Coma Berenices (-mæ...-ces)	Cabeleira de Berenice	N	Diadem
CrA	Corona Australis (-næ...-lis)	Coroa Austral	S	
CrB	Corona Borealis (-næ...-lis)	Coroa Boreal	N	Alfecca, Nusakan
Crv	Corvus (-vi)	Corvo	S	Alchiba, Kraz, Gienah Ghurab, Algorab, Minkar
Crt	Crater (-ris)	Taça	S	Alkes
Cru	Crux (-ucis)	Cruzeiro do Sul	S	Estrela de Magalhães, Mimosa, Rubídea, Pálida, Intrometida
Cyg	Cygnus (-gni)	Cisne	N	Deneb, Albireo, Sadr, Gienah Cygni
Del	Delphinus (-ni)	Golfinho	N	Sualocin, Rotanev, Deneb Dulfim
Dor	Dorado (-dus)	Dourado	S	
Dra	Draco (-nis)	Dragão	N	Thuban, Rastaban, Eltanin, Tyl, Edasich
Equ	Equuleus (-lei)	Cavalo Menor	N	Kitalpha
Eri	Eridanus (-ni)	Erídano	S	Achernar, Cursa, Zaurak, Rana, Azha
For	Fornax (-naxis)	Forno	S	
Gem	Gemini (-norum)	Gêmeos	N	Castor, Pollux, Almeisan, Alhena, Wasat
Gru	Grus (-uis)	Grou	S	Alnair, Ponta Azul, Ponta Vermelha
Her	Hercules (-lis)	Hércules	N	Ras Algethi, Kornephoros, Sarin, Maasim, Cujam
Hor	Horologium (-gii)	Relógio	S	
Hya	Hydra (-dræ)	Hidra Fêmea	S	Alphard, Cor Hydrae
Hyi	Hydrus (-dri)	Hidra Macho	S	
Ind	Indus (-di)	Índio	S	Alnair
Lac	Lacerta (-tæ)	Lagarto	N	
Leo	Leo (-nis)	Leão	N	Regulus, Denebola, Al Gieba, Zozma, Ras Elased
LMi	Leo Minor (-nis...-ris)	Leão Menor	N	Praecipula
Lep	Lepus (-poris)	Lebre	S	Arneb, Nihal
Lib	Libra (-bræ)	Balança	S	Zubenelgenubi, Zubeneshamali
Lup	Lupus (-pi)	Lobo	S	Men
Lyn	Lynx (-ncis)	Lince	N	
Lyr	Lyra (-ræ)	Lira	N	Vega, Sheliak, Sulafat
Men	Mensa (sæ)	Mesa	S	
Mic	Microscopium (-pii)	Microscópio	S	
Mon	Monoceros (-otis)	Unicórnio	S	
Mus	Musca (-cæ)	Mosca	S	
Nor	Norma (-mæ)	Régua	S	
Oct	Octans (-ntis)	Octante	S	
Oph	Ophiuchus (-chi)	Ofiúco	N-S	Rasalhague, Cebalrai, Yed Prior, Yed Posterior, Marfik

ABREV.	LATIM (-GEN.)	PORTUGUÊS	HEM.	PRINCIPAIS ESTRELAS
Ori	Orion (-onis)	Órion	N-S	Betelgeuse, Rigel, Bellatrix, Mintaka, Alnilam
Pav	Pavo (-onis)	Pavo	S	Peacock
Peg	Pegasus (-si)	Pégaso	N	Markab, Scheat, Algenib, Enif, Homam
Per	Perseus (-sei)	Perseu	N	Mirphak, Algol, Atik, Miram, Menkib
Phe	Phoenix (-nicis)	Fênix	S	Ankaa
Pic	Pictor (-ris)	Pintor	S	
Psc	Pisces (-scium)	Peixes	N	Al Risha, Fum al Samakah, Torcularis
PsA	Piscis Austrinus (-ces...-ni)	Peixe Austral	S	Fomalhaut
Pup	Puppis (-pis)	Popa	S	Naos, Azmidiske
Pyx	Pyxis (-xidis)	Bússola	S	
Ret	Reticulum (-li)	Retículo	S	
Sge	Sagitta (tæ)	Flecha	N	Sham
Sgr	Sagittarius (-rii)	Sagitário	S	Rukbat, Arkab Prior, Arkab Posterior, Kaus Meridionalis
Sco	Scorpius (-pii)	Escorpião	S	Antares, Graffias, Dschubba, Lesath, Shaula
Scl	Sculptor (-ris)	Escultor	S	
Sct	Scutum (-ti)	Escudo	S	
Ser	Serpens (-ntis)	Serpente	N-S	Unukalhai
Sex	Sextans (-ntis)	Sextante	S	
Tau	Taurus (-ri)	Touro	N	Aldebaran, Alnath, Hyadum I, Hyadum II, Ain
Tel	Telescopium (-pii)	Telescópio	S	
Tri	Triangulum (-li)	Triângulo	N	Ras al Mothallah
TrA	Triangulum Australe (-li...-lis)	Triângulo Austral	S	Atria
Tuc	Tucana (-næ)	Tucano	S	
UMa	Ursa Major (-sæ:.-ris)	Ursa Maior	N	Dubhe, Merak, Phad, Tania Borealis, Tania Australis
UMi	Ursa Minor (-sæ:.-ris)	Ursa Menor	N	Polaris
Vel	Vela (-lorum)	Vela	S	Suhail al Muhlif, Alsu hail
Vir	Virgo (-ginis)	Virgem	N-S	Spica, Zavijah, Auva, Vindemiatrix, Heze
Vol	Volans (-ntis)	Peixe Voador	S	
Vul	Vulpecula (-læ)	Raposa	N	Anser

Apêndice B

Estrelas na Intimidade

Já houve uma época em que os homens estabeleciam uma relação íntima com as estrelas. Eram como amigos, que davam conselhos nas horas certas, diziam o que fazer e quando fazer. Dessa intimidade, o homem começou a apelidar as estrelas. Os árabes foram o povo que mais contribuiu com a nomenclatura estelar. É possível, pelo nome, entender o formato da constelação, bem como a imagem que possuía cada estrela.

Segue abaixo a lista das principais estrelas de cada constelação oficial. Na primeira coluna, a classificação de Bayer; na segunda, o nome mais famoso (em alguns raros casos, fornecemos mais de um nome); na terceira, a etimologia do nome respectivo. Nela, usamos as seguintes abreviações para línguas: *ar.* para árabe, *lt.* para latim, *gr.* para grego, *pr.* para persa/farsi, *cn.* para chinês, *it.* para italiano. Na quarta coluna, as magnitudes aparentes; na quinta coluna o tipo espectral, classe de luminosidade e informações extras – para as quais usamos as seguintes abreviações: *bin* para estrela binária, *bin spec* para binária espectroscópica, *bin ecl* para binária eclipsante, *mult* para sistemas múltiplos (seguido, entre parênteses, pelo número de estrelas do sistema), *plt!* para estrela que possui planeta, *var* para variável (seguido, entre parênteses, pelo tipo de variável a que pertence).

ANDRÔMEDA				
α	Alpheratz	ar. <i>surrat al-faras</i> : umbigo da égua	2,1	A0 Vp bin spec
β	Mirach	ar. <i>mīzar</i> : cintura	2,1	M0 III
γ	Almak	ar. <i>al-'anaq al-'ard</i> : o caracal	2,2	K3 IIb mult (1+3)

ÁGUIA				
α	Altair	ar. <i>aṭ-ṭa'ir</i> : voadora, de <i>an-nasr aṭ-ṭa'ir</i> : a águia voadora	0,8	A7 V
β	Alshain	pr. eixo, de <i>al-šāhīn tarāzu</i> : o eixo da balança	3,7	G8 IV
γ	Tarazed	pr. balança, de <i>al-šāhīn tarāzu</i>	2,8	K3 II
ζ	Deneb Elokab	ar. <i>ḍanab al-'uqāb</i> : cauda do falcão	3	A0 V n
λ	Althalimain	ar. <i>al-thalīmain</i> : os dois avestruzes	3,4	B9 V n

AQUÁRIO				
α	Sadalmelik	ar. <i>sa'd al-malik</i> : sorte do rei	3	G2 Ib
β	Sadalsuud	ar. <i>sa'd al-su'ūd</i> : sorte das sortes	2,9	G0 Ib
γ	Sadachbia	ar. <i>sa'd al-'akhbiyah</i> sorte das tendas	3,8	A0 V
δ	Sheat	ar. <i>šī'at</i> : desejo	3,3	
ϵ	Albali	ar. <i>al-bāli</i> : o sorvedouro	3,8	A1 V
ζ	Sadaltager	ar. <i>sa'd al-tājir</i> : sorte do mercador	3,6	3 V bin
θ	Ancha	lat. <i>ancha</i> : anca	4,2	G8 III

BALEIA				
α	Menkar	ar. <i>mankhar al-ḥut</i> : focinho do peixe	2,5	M1 IIIa var(irr)
β	Difda	ar. <i>ḍafda'</i> : sapo, de <i>aḍ-ḍafda' ath-thānī</i> , o segundo sapo	2	K0 III
γ	Alkaffaljidhma	ar. <i>al-kaf al-jiḍmā</i> : a mão decepada	3,5	A3 V mult(3)
ζ	Baten Kaitos	ar. <i>batn qaytus</i> : barriga do Cetus	3,7	K2 III bin spec
η	Deneb Algenubi	ar. <i>ḍanab al-janūbi</i> : cauda sul	3,4	K2 III bin spec
ι	Deneb Ashemali	ar. <i>ḍanab aš-šamālī</i> : cauda norte	3,6	
o	Mira Ceti	lat. <i>mira stella</i> : estrela maravilhosa	3	M7 IIIe var(Mira)
BOIEIRO				
α	Arcturus	gr. <i>arktouros</i> : guarda da ursa, de <i>arktos</i> : ursa	0	K2 IIIpe
β	Nekkar	ar. <i>baqār</i> : pastor	3,5	G8 IIIa
γ	Seginus		3	A7 III var(δ Scu)
ϵ	Izar	ar. <i>'izār</i> : véu	2,4	G0 IV
η	Mufrid	ar. <i>mufrid ar-ramiḥ</i> : solitária do lanceiro	2,7	K0 III bin
θ	Asellus Primus	lat. <i>asellus primus</i> : primeiro asno	4	F7 V
μ	Alkalurops	gr. <i>kalaurops</i> : cajado	4,3	F0 V bin
CABELEIRA DE BERENICE				
α	Diadema	gr. <i>diádēma</i> : faixa, tiara	4,3	F5 V bin
CÃES DE CAÇA				
α	Cor Caroli	lat. <i>cor caroli</i> : coração de Carlos, do Rei Charles I da Inglaterra (1600-1649)	2,9	A0p bin
β	Chara	gr. <i>khará</i> : deleite	4,2	G0 V
γ	La Superba	it. <i>la superba</i> : a magnífica	5	C5J var
CÃO MAIOR				
α	Sirius MT	gr. <i>seirios</i> : brilhante pt. Mato Grosso	-1,5	A1 V bin
β	Murzim AP	ar. <i>murzim</i> : arauto, anunciador pt. Amapá	2	B1 II var(β Cep)
γ	Mulifein RO	ar. <i>muḥlifayn</i> : jurado pt. Rondônia	4,1	B8 II
δ	Wezen RR	ar. <i>al-wazn</i> : peso pt. Roraima	1,9	F8 Ia
ϵ	Adhara TO	ar. <i>al-aḍārā</i> : as virgens pt. Tocantins	1,5	B2 II
ζ	Furud	ar. <i>al-qird</i> : os macacos	3	B5 Ia var(α Cyg)
η	Aludra	ar. <i>al-aḍrā</i> : a virgem	2,4	B5 Ia bin spec
CÃO MENOR				
α	Procyon AM	gr. <i>pro kyon</i> : antes do cão pt. Amazonas	0,4	F5 V bin
β	Gomeisa	ar. <i>al-ghumaisa</i> : a chorosa	2,9	B8 V var(γ Cep)
CAPRICÓRNIO				
α	Algiedi	ar. <i>al-jadī</i> : a cabra	3,6	G3 Ib bin
β	Dabih	ar. <i>al-dhābiḥ</i> : o carniceiro	3,1	K0 II mult(3+2)
γ	Nashira	ar. <i>sa'd nashirah</i> : o que traz sorte	3,7	F0p var(α CVn)
δ	Deneb Algiedi	<i>ḍanab al-jadī</i> : rabo da cabra	2,9	A7 III mult(3) ecl

CARANGUEJO				
α	Acubens	ar. <i>al-zuban</i> : a garra	4,2	A5m bin
β	Altarf	ar. <i>aṭ-ṭarfah</i> : o olhar	3,5	K4 III
γ	Asellus Borealis	lat. <i>asellus borealis</i> : pequeno asno do norte	4,7	A1 IV
δ	Asellus Australis	lat. <i>asellus australis</i> : pequeno asno do sul	3,9	K0 III
ζ	Tegmine	lat. <i>tegmen</i> : carapaça	4,6	F7 V mult(2+2)
CARNEIRO				
α	Hamal	ar. <i>ra's al-ḥamal</i> : cabeça do carneiro	2	K2 III
β	Sheratan	ar. <i>aš-šarāṭān</i> : os dois signos	2,6	A5 V bin
γ	Mesarthim	ar. <i>muṭṭarṭim</i> : o carneiro gordo	4,6	B9 V bin
CASSIOPÉIA				
α	Cheddar	ar. <i>šadr</i> : peito	2,2	K0 IIIa
β	Caf	ar. <i>kaf</i> : palma da mão	2,3	F2 III var(δ Sct)
γ	Tsi Navi	cn. <i>cè</i> : chicote Ivan de trás para frente, de Virgil Ivan Grissom (1926-67)	2,5	B0 IVe var(γ Cas)
δ	Rukbah	ar. <i>rukba'</i> : joelho	2,7	A5 IIIv bin ecl
ϵ			3,4	B3 III
CAVALO MENOR				
α	Kitalfa	ar. <i>qit'a al-faras</i> : parte do cavalo	3,9	G0 III+ bin spec
CEFEU				
α	Alderamin	ar. <i>aḏ-ḏirā' al-yamīn</i> : o braço direito	2,4	A7 IV var(δ Sct)
β	Alfirk	ar. <i>al-friqa'</i> : o rebanho	3,2	B2 IIIe mult(3) var(β Cep)
γ	Alrai	ar. <i>ar-rā'i</i> : o pastor	3,2	K1 IVe bin plt!
μ	Estrela Granada de Herschel	vermelho granado, a cor + William Herschel (1738-1822)	4,1	M1 I var(μ Cep)
CENTAURO				
α	Rigil Kentaurus	ar. <i>ar-rijl al-qanṭūris</i> : pé do centauro	0	G2 V mult(3)
β	Hadar	ar. <i>al-ard'</i> : terra	0,6	B1 III var(β Cep)
γ	Muhlifain	ar. <i>muḥlifayn</i> : jurado	2,2	A1 IV bin
θ	Menkent	ar. <i>al-mankib</i> : o ombro	2,1	K0 III
CISNE				
α	Deneb	ar. <i>ḏanab ad-dajāḗ</i> : cauda da galinha	1,2	A2 Ia
β	Albireo	ar. <i>minqār ad-dajāḗ</i> : bico da galinha	3,1	K2 II bin
γ	Sadr	ar. <i>šadr</i> : peito	2,2	F8 Ia
δ	Gienah 1 Rukh	ar. <i>al-janaḥ</i> : a asa	2,9	B9 III mult(3)
ϵ	Gienah 2 Outra	ar. <i>al-janaḥ</i> : a asa	2,5	K0 III
COCHEIRO				
α	Capella	ar. <i>capella</i> : pequena cabra, de <i>capra</i> : cabra	0,1	G8 III bin spec mult(2+2)
β	Menkalinan	ar. <i>al-mankib ḏi-l-'inan</i> : o ombro do cocheiro	1,9	A1m IV bin
ζ	Haedus I Sadatoni	lat. <i>hædus</i> : criança ar. <i>as-sā'id ath-thani</i> : o segundo braço	3,7	K5 II bin ecl
η	Haedus II	lat. <i>hædus</i> : criança	3,2	B3 V
θ	Mahasim	ar. <i>al-mi'šam</i> : o pulso	2,6	A0p bin
ι	Kabdilinan	ar. <i>al-ka'b ḏi-l-'inan</i> : o tornozelo do cocheiro	2,7	K3 II

COROA BOREAL				
α	Alfeka Gemma	ar. <i>al-nayyir al-fakka</i> : a bela do (anel) quebrado lat. <i>gemma</i> : gema	2,2	A0 V bin ecl
β	Nusakan		3,7	A9p
CORVO				
α	Achiba	ar. <i>al-khibā'</i> : a tenda	4	F2 IV
β	Kraz		2,7	G5 II
γ	Gienah Gurab	ar. <i>al-janaḥ al-ghurab</i> : a asa do corvo	2,6	B8 III
δ	Algorab	ar. <i>al-ghurab</i> : o corvo	2,9	A0 IV
CRUZEIRO DO SUL				
α	Acrux Estrela de Magalhães SP	> <i>alpha crucis</i> < pt. Fernão de Magalhães (1480-1521) pt. São Paulo	1,4	B0 IV mult(2+1+1)
β	Becrux Mimosa RJ	> <i>beta crucis</i> < pt. cheia de mimo pt. Rio de Janeiro	1,2	B0 III bin var(β Cep)
γ	Gacrux Rubídea BA	> <i>gamma crucis</i> < pt. cor de rubi pt. Bahia	1,6	M3 III var(SRV)
δ	Pálida MG	pt. pálida pt. Minas Gerais	3,1	B2 IV var(β Cep)
ϵ	Intrometida ES	pt. intrometida pt. Espírito Santo	3,6	K3 III
DRAGÃO				
α	Thuban	ar. <i>ath-thu'ban</i> : o dragão	3,7	A0 III
β	Rastuban	ar. <i>ra's ath-thu'ban</i> : a cabeça do dragão	2,8	G2 Ib
γ	Eltanin	ar. <i>at-tinnin</i> : a grande serpente	2,2	K5 III
δ	Altais	ar. <i>at-tais</i> : a cabra	3,1	G9 III
ϵ	Tyl		3,8	G8 III
η	Aldhibain I	ar. <i>aḏ-ḏibain</i> : as hienas	2,8	G8 III
ζ	Aldhibain II	ar. <i>aḏ-ḏibain</i> : as hienas	3,2	B6 III
ι	Edasich	ar. <i>aḏ-ḏili</i> : hiena macho	3,3	K2 III
λ	Gianfar	ar. <i>gianfar</i> : dragão	4,1	M0
ξ	Grumium	lat. <i>grumium</i> : mandíbula	3,7	K2 III
χ	Batentaban	ar. <i>al-baṭn ath-thu'ban</i> : o ventre do dragão	3,6	F7 V bin
ERÍDANO				
α	Achernar	ar. <i>ākhīr an-nahr</i> : fim do rio, foz	0,5	B6 Vep var(λ Eri)
β	Cursa	ar. <i>kursī al-jauza'</i> : o assento do central (Órion)	2,8	A3 III bin
γ	Zaurak	ar. <i>az-zaurak</i> : o barco	2,4	M1 IIIb
δ	Rana	lat. <i>rana</i> : rã	3,5	K0 IV
η	Azha	pr. <i>āšiyāne</i> : ninho do avestruz	3,7	K1 III
θ	Acamar	ar. <i>ākhīr an-nahr</i> : fim do rio, foz	3,2	A3 IV bin
ϕ	Beid		4	F2 II var(δ Sct)
ν	Theemin	gêmeos	3,8	G8 IIIa

ESCORPIÃO				
α	Antares Kardia Scorpiu Cor Scorpii PI	gr. <i>antares</i> : anti-Marte gr. <i>kardia scorpiu</i> e lat. <i>cor scorpii</i> : coração do escorpião pt. Piauí	1	M2 Ib bin
β	Acrab MA	ar. <i>al-'aqrab</i> : o escorpião pt. Maranhão	2,6	
δ	Dschubba	ar. <i>jubha</i> : fronte	2,3	B0 IV var(γ Cas)
ϵ	Wei CE	cn. <i>wēi</i> : cauda pt. Ceará	2,3	K1 III
θ	Sargas AL	nome sumério pt. Alagoas	1,9	F0 II
κ	Girtab PB	nome sumério pt. Paraíba	2,4	B1 III var(β Cep)
λ	Shaula RN	ar. <i>aš-šaulā</i> : a (cauda) levantada pt. Rio Grande do Norte	1,6	B2 IV mult(3+1+1) var(β Cep)
μ	Denebacrab PE	ar. <i>aḏ-ḏanab al-'aqrab</i> : cauda do escorpião pt. Pernambuco	3	B1 V bin ecl
π	Vrischika	hindu: const. do escorpião	2,9	B1 V mult(3) ecl
σ	Alniyat I	ar. <i>an-niyaṭ</i> : a artéria	2,9	B1 III var(β Cep)
τ	Alniyat II	ar. <i>an-niyaṭ</i> : a artéria	2,8	B0 V
ν	Lesath	ar. <i>al-las'a</i> : picada (de animal venenoso)	4	B2 IV
FÊNIX				
α	Ankaa	ar. <i>al-'anqā'</i> : a fênix	2,4	K0 IIIb bin
GÊMEOS				
α	Castor	gr. Castor, filho de Zeus e Leda	1,6	A2 Vm
β	Pollux	gr. Pollux, filho de Zeus e Leda	1,1	K0 III var plt!
γ	Alhena	ar. <i>al han'āh</i> : a marca (no camelo)	1,9	A1 IV bin spec
δ	Wasat	ar. <i>wasat as-samah</i> : meio do céu	3,5	F0 IV mult(3)
ϵ	Mebuta	ar. <i>aḏ-ḏira' al-mabsūṭah</i> : o braço esticado (do leão)	3	G8 Ib
ζ	Mekbuda	ar. <i>aḏ-ḏira' al-maqbuḍa</i> : o braço encolhido (do leão)	3,8	G3 Ib var(δ Cep)
η	Pes Prior	lat. <i>pes prior</i> : pé da frente	3,3	M3 III bin
μ	Pes Posterior	lat. <i>pes posterior</i> : pé de trás	2,9	M3 III var(LB)
GOLFINHO				
α	Sualocin	Nicolaus de trás para frente, de Nicolaus Venator (1770-1841)	3,8	
β	Rotanev	Venator de trás para frente, de Nicolaus Venator (1770-1841)	3,5	
GROU				
α	Alnair	ar. <i>al-nayyir</i> : a brilhante	1,7	B6 V
β	Ponta Vermelha		2,1	M5 III var
γ	Ponta Azul		3,0	B8 III
HÉRCULES				
α	Rasalgethi	ar. <i>ra's al-jathiyy</i> : a cabeça do ajoelhado	3,2	M5 IIv bin
β	Kornéforos	gr. <i>kornephoros</i> : aquele que segura a clava	2,8	G7 IIIa
δ	Sarim		3,1	A3IV bin
HIDRA FÊMEA				
α	Alfard MS	ar. <i>al-fard</i> : a solitária pt. Mato Grosso do Sul	2	K3 II

LEÃO				
α	Regulus	lat. <i>rēgulus</i> : pequeno rei	1,3	B7 V mult(4)
β	Denebola	ar. <i>ḍanab al-asad</i> : cauda do leão	2,1	A3 Vvar
γ	Algieba Juba	ar. <i>al-jabhah</i> : a testa	2,3	K1 IIIb
δ	Zosma		2,6	A4 V
ϵ	Ras Elased Algenubi	ar. <i>ra's al-'asad al-janūbi</i> : estrela do sul da cabeça do leão	3	G1 II
ζ	Adhafera	ar. <i>al-ḍafirah</i> : a trança / o cacho	3,4	F0 III
θ	Chort	ar. <i>al-kharāt</i> : pequena costela	3,3	A2 V
λ	Alterf	ar. <i>aṭ-ṭarf</i> : a vista	4,3	K5
μ	Ras Elased Alshemali	ar. <i>ra's al-'asad aš-šamāli</i> : estrela do norte da cabeça do leão	3,9	K0 III

LEBRE				
α	Arneb	ar. <i>'arnab</i> : lebre	2,6	F0 Ib
β	Nihal		2,9	G5 II

LIBRA				
α	Zubenelgenubi	ar. <i>al-zuban al-janūbi</i> : a garra do sul	2,7	F3 V
β	Zubenelschamali	ar. <i>al-zuban aš-šamāli</i> : a garra do norte	2,6	B8 V
γ	Zubenelakrabi	ar. <i>al-zuban al-aqrab</i> : garra do escorpião	3,9	K0 III
δ	Zubenelakribi	ar. <i>al-zuban al-aqrab</i> : garra do escorpião	4,9	B9 V

LIRA				
α	Vega	ar. <i>wāqī'</i> : caindo, de <i>an-nasr al-waqī'</i> : a águia caindo	0	A0 V
β	Sheliak	ar. <i>šiliyāq</i> : harpa	3,4	B7 II bin
γ	Sulafat	ar. <i>sulḥafāt</i> : tartaruga	3,2	B9 III

LOBO				
α	Guarda 10	cn. <i>qí guān shí</i> : guarda imperial dez	2,3	B1 III
β	Guarda 4	cn. <i>qí guān sì</i> : guarda imperial quatro	2,7	B2 III var

OFÍUCO				
α	Rasalhague	ar. <i>ra's al-ḥawa'</i> : cabeça do coletor de serpentes	2,1	A5 III
β	Cebalrai	ar. <i>kalb al-rā'i</i> : cão pastor	2,8	K2 III
δ	Yed Prior	ar. <i>yed</i> : mão + lat. <i>prior</i> : anterior	2,7	M0 III
ϵ	Yed Posterior	ar. <i>yed</i> : mão + lat. <i>posterior</i> : posterior	3,2	G9 IIIb
ζ	Han	ch. <i>Hán</i> , a dinastia	2,6	B0 Ve var(γ Cas)
η	Song	ch. <i>Sòng</i> , a dinastia	2,4	A2 Va
λ	Marfik		3,8	A0 V+

ÓRION				
α	Betelgeuse	ar. <i>yad al-jauza'</i> : a mão do central (Órion)	0,5	M2 Ia
β	Rigel	ar. <i>rijl</i> : pé, de <i>al-rijl jauza' al-yusra</i> : o pé esquerdo do central	0,1	B8 Ia var(α Cyg)
γ	Bellatrix	lat. <i>bellatrix</i> : guerreira, de <i>bellum</i> : guerra	1,6	B2 III
δ	Mintaka	ar. <i>an-nitaq</i> : o cinto	2,2	O9 II bin
ϵ	Alnilan	ar. <i>an-nizām</i> : o ordenamento (de pérolas em cordão)	1,7	B0 Ia var(α Cyg)
ζ	Alnitak	ar. <i>an-nitaq</i> : o cinto	1,8	O9 Ia mult(3)
η	Algiebbah	ar. <i>al-saif al-jabbār</i> : a espada do gigante	3,4	B1 V mult(4)
κ	Saif	ar. <i>al-saif al-jabbār</i> : a espada do gigante	2,1	B0 Ia
λ	Meissa Heka	ar. <i>al-maisam</i> : a cintilante ar. <i>al-haq'a</i> : o ponto branco	3,4	O8 III bin

OITANTE				
σ	Polaris Australis DF	lat. <i>polaris</i> : do pólo + <i>austrālis</i> : do sul pt. Distrito Federal do Brasil	5,4	F0 III
PAVÃO				
α	Peacock	en. <i>peacock</i> : pavão	1,9	
PÉGASO				
α	Markab	ar. <i>markab</i> : sela	2,5	B9 III
β	Scheat Mankib Alfaras	ar. <i>šī'at</i> : desejo ar <i>mankib al-faras</i> : ombro do cavalo	2,4	M2 II
γ	Algenib	ar. <i>al-jānib</i> : o lado, flanco	2,8	B2 IV var(β Cep)
ϵ	Enif	ar. <i>anf</i> : nariz, focinho	2,4	K2 Ib
ζ	Homam Sadalhumam	ar. <i>sa'd al-humām</i> : sorte do corajoso	3,4	B8 V
η	Matar Sadalmatar	ar. <i>sa'd al-maṭar</i> : sorte da chuva	2,9	G2 II bin
θ	Baham		3,5	A2 Vp
μ	Sadalbari	ar. <i>sa'd al-bāri'</i> : sorte do excelente	3,5	G8 III
PEIXE AUSTRAL				
α	Fomalhaut	ar. <i>fum al-ḥut</i> : boca do peixe	1,2	A3 V
PEIXES				
α	Alrischa	ar. <i>al-rišā</i> : a corda	3,8	
PERSEU				
α	Mirfak	ar. <i>al-mirfaq</i> : o cotovelo	1,8	F5 Ib
β	Algol	ar. <i>ra's al-ghūl</i> : cabeça do ghoul	2,1	B8 V mult(3) ecl
ζ	Atik Menkib		2,8	B1 Ib bin
POMBA				
α	Fakt	ar. <i>fakhtah</i> : pomba	2,6	B7 IV bin
β	Wezn	ar. <i>wezn</i> : peso	3,1	K1 III
POPA				
ζ	Naos	gr. <i>naus</i> : nau	2,2	O4 If
ξ	Asmisdiske	gr. <i>aspidiske</i> , pequeno escudo, de <i>aspida</i> , escudo	3,3	G6 Ib
QUILHA				
α	Canopus	gr. Canopus, piloto do Rei Menelaus de Esparta	-0,7	F0 II
β	Miaplacidus	ar <i>miyāh</i> : águas + lat. <i>placidus</i> : tranquilo	1,7	A1 III
ϵ	Avior		1,9	K3 III bin
η	Estrela do Daminelli	de Augusto Daminelli (1947-)	-1 a 7,9	OI
ι	Aspidiske	gr. <i>aspidiske</i> , pequeno escudo, de <i>aspida</i> , escudo	2,2	A9 Ib

SAGITÁRIO				
α	Rukbat	ar. <i>rukbat</i> : joelho, de <i>al-rukbat al-rāmī</i> : o joelho do arqueiro	4	B8 V bin spec
β_1	Arkab Prior	ar. <i>'arqūb</i> : tendão + lat. <i>prior</i> : anterior	3,9	B9 V bin
β_2	Arkab Posterior	ar. <i>'arqūb</i> : tendão + lat. <i>posterior</i> : posterior	4,2	F2 III
γ	Alnasl	ar. <i>al-nasl</i> : a ponta da flecha	3	K1 III
δ	Kaus Media	ar. <i>kaūs</i> : arco + lat. <i>media</i> : do meio	2,7	K3 III mult(1+3)
ϵ	Kaus Australis	ar. <i>kaūs</i> : arco + lat. <i>austrālis</i> : do sul	1,8	B9 III bin
ζ	Ascella	lat. <i>ascella</i> : axila	2,6	A2 Va bin
λ	Kaus Borealis	ar. <i>kaūs</i> : arco + lat. <i>boreālis</i> : do norte	2,8	K0 IV
π	Albaldah	ar. <i>al-balṭah</i> : o machado	2,9	F2 II mult(3)
σ	Nunki	nome sumério	2	B2 V
SERPENTE				
α	Unukalhai	ar. <i>'unuq al-ḥaiāh</i> : pescoço da serpente	2,7	K2 III
θ	Alya	ar. <i>'alyah</i> : rabo gordo	4	A5 V mult(3)
TAÇA				
α	Alkes	ar. <i>al-ka's</i> : a taça	4,1	K1 III
TOURO				
α	Aldebaran	ar. <i>al-dabarān</i> : o seguidor	0,8	K5 III var(LB)
β	Alnath	ar. <i>an-nath</i> : os chifres-do-touro	1,7	B7 III
γ	Hyadum Primus	ar. <i>hyadum primum</i> : Híade primeira	3,5	G8 III
ϵ	Ain	ar. <i>ain</i> : olho	3,5	K0 III plt!
η	Alcyone	gr. Alcione, ninfa plêiade	2,9	B7 IIIe mult(2+3)
TRIÂNGULO				
α	Rasalmuthallah	ar. <i>ra's al-muthallath</i> : cabeça do triângulo	3,4	F5 III bin
β	Deltatron	gr. <i>deltatron</i> : forma de delta	3	A5 III bin
γ	Aniotsal	L'Astorina de trás para frente, de Bruno L'Astorina (1986-)	4	A1 Vnn
TRIÂNGULO AUSTRAL				
α	Atria RS	>alpha trianguli< pt. Rio Grande do Sul	1,9	K2 IIb
β	Betria SC	>beta trianguli< pt. Santa Catarina	2,8	F1 V
γ	Gatria PR	>gamma trianguli< pt. Paraná	2,8	A1 V
URSA MAIOR				
α	Dubhe	ar. <i>al-dubb</i> : o urso, de <i>az-zahr ad-dubb al-akbar</i> , as costas do grande urso	1,8	K1 II bin spec
β	Merak	ar. <i>al-maraq ad-dubb</i> : o lombo do urso	2,4	A1 V
γ	Fekda	ar. <i>al-fakhḍ ad-dubb</i> : a coxa do urso	2,4	A0 Ve
δ	Megrez	ar. <i>al-maghris</i> : a base (da cauda do urso)	3,3	A3 V
ϵ	Alioth	ar. <i>al-ilya</i> : a cauda-gorda-da-ovelha	1,8	A0p var(α_2 CVn)
ζ	Mizar	ar. <i>mīzar</i> : cintura	2,3	A2 V mult(4)
η	Alkaid	ar. <i>qā'id bināt na'sh</i> : líder das irmãs do caixão	1,9	B3 V
κ	Thalitha Australis	ar. <i>al-thalitha</i> : terceira + lat. <i>austrālis</i> : do sul	3,6	A1 Vn
ι	Thalita Borealis	ar. <i>al-thalitha</i> : terceira + lat. <i>boreālis</i> : do norte	3,1	A7 IV
λ	Tania Borealis	ar. <i>al-thānia</i> : segunda + lat. <i>boreālis</i> : do norte	3,4	A2 IV
μ	Tania Australis	ar. <i>al-thānia</i> : segunda + lat. <i>austrālis</i> : do sul	3,1	M0 III bin spec
ν	Alula Borealis	ar. <i>al-ūlā</i> : primeira + lat. <i>boreālis</i> : do norte	3,5	K3 III bin
ξ	Alula Australis	ar. <i>al-ūlā</i> : primeira + lat. <i>austrālis</i> : do sul	3,8	G0 Ve mult(4)
$\omicron$	Muscida	lat. <i>musus</i> : focinho	3,4	G4 II mult(4)
80	Alcor	ar. <i>al-qur</i> : o cavaleiro	4	A5 V bin

URSA MENOR				
α	Polaris	lat. <i>polaris</i> : do pólo	2	F7 II mult(3+1) var(Cefeida)
β	Kochab	ar. <i>kaukab</i> : estrela, de <i>al-kaukab aš-šamāli</i> : a estrela do norte	2,1	K4 III
γ	Ferkad	ar. <i>al-farqad</i> : o bezerro	3,1	A3 Ia var(δ Sct)
δ	Yildum	turco <i>yıldız</i> : estrela	4,4	A1 Vn
ϵ	Urodelos	gr. <i>ourodēlos</i> : cauda visível	4,2	G5 III mult(3)
η	Anwar Alfarkadain	ar. <i>'anwar al-farqadain</i> : o mais brilhante dos bezeros	4,2	F5 V
ζ	Akhfa Alfarkadain	ar. <i>alifa al-farqadain</i> : o mais obscuro dos bezeros	4,9	A3 Vn
VELA				
γ	Suhail Almuḥlif Regor	ar. <i>suhayl al-muḥlif</i> : gloriosa do juramento Roger com vogais trocadas, de Roger B. Chaffee (1935-67)	1,8	WC8 mult(6)
δ	Couché	cn. <i>húshī</i> : arco e flecha	2	A1 Va bin ecl
κ	Markeb	ar. <i>markab</i> : sela	2,5	B2 IV bin spec
λ	Suhail Alwazen	ar. <i>suhayl al-wazn</i> : gloriosa do ciclo	2,2	K4 Ib
VIRGEM				
α	Spica PA	lat. <i>spīca virginis</i> : espiga (de trigo) da virgem pt. Pará	1	B1 III var(β Cep) bin
β	Zavijava	ar. <i>az-zāwiya</i> : canto	3,6	A9 V
γ	Porrina	lat. Porrina ou Antevorta, deusa do futuro	2,7	F0 V bin
δ	Ava	ar. <i>al-'awwā</i> : o latidor, cachorro	3,4	M3 III
ϵ	Vindemiatrix	lat. <i>vindēmiātrix</i> : vindimadora, i.e., fem. que trabalha na colheita de uvas (vindima)	2,8	G8 III
η	Zaniah	ar. <i>az-zāwiya</i> : canto	3,9	A2 V mult(3)

Apêndice C

Catálogo Messier

	NGC	Nome	Tipo	Constelação	α	δ	D(kpc)	m_v
M1	NGC 1952	Nebulosa do Caranguejo	SN	Taurus	5h 33m	+22°01′	1,9	9
M2	NGC 7089		AG	Aquarius	21h 32m	-00°54′	11	7,5
M3	NGC 5272		AG	Canes Venatici	13h 41m	+28°29′	9,5	7
M4	NGC 6121		AG	Scorpius	16h 22m	-26°27′	2,1	7,5
M5	NGC 5904		AG	Serpens	15h 17m	-02°11′	7,1	7
M6	NGC 6405	Nebulosa da Lagoa	AA	Scorpius	17h 39m	-32°11′	0,6	4,5
M7	NGC 6475		AA	Scorpius	17h 53m	-34°48′	0,3	3,5
M8	NGC 6523		ND	Sagittarius	18h 02m	-24°23′	2	5
M9	NGC 6333		AG	Ophiuchus	17h 18m	-18°30′	8	9
M10	NGC 6254		AG	Ophiuchus	16h 56m	-04°05′	4	7,5
M11	NGC 6705	Nebulosa da Águia	AA	Scutum	18h 50m	-06°18′	1,8	7
M12	NGC 6218		AG	Ophiuchus	16h 46m	-01°55′	5,5	8
M13	NGC 6205		AG	Hercules	16h 41m	+36°30′	6,7	5,8
M14	NGC 6402		AG	Ophiuchus	17h 37m	-03°14′	8,3	9,5
M15	NGC 7078		AG	Pegasus	21h 29m	+12°05′	10,1	7,5
M16	NGC 6611	Nebulosa Trífida	ND	Serpens	18h 18m	-13°48′	2,1	6,5
M17	NGC 6618		ND	Sagittarius	18h 20m	-16°12′	1,5	7
M18	NGC 6613		AA	Sagittarius	18h 19m	-17°09′	1,8	8
M19	NGC 6273		AG	Ophiuchus	17h 01m	-26°14′	8,3	8,5
M20	NGC 6514		ND	Sagittarius	18h 01m	-23°02′	0,7	5
M21	NGC 6531	Galáxia de Andrômeda	AA	Sagittarius	18h 03m	-22°30′	0,9	7
M22	NGC 6656		AG	Sagittarius	18h 35m	-23°55′	3,1	6,5
M23	NGC 6494		AA	Sagittarius	17h 56m	-19°00′	1,4	6
M24*	NGC 6603		VL*	Sagittarius	18h 17m	-18°27′	3,1	11,5
M25	IC 4725		AA	Sagittarius	18h 31m	-19°16′	0,6	4,9
M26	NGC 6694	Galáxia satélite à de Andrômeda	AA	Scutum	18h 44m	-19°25′	1,5	9,5
M27	NGC 6853		NP	Vulpecula	19h 59m	+22°40′	0,4	7,5
M28	NGC 6626		AG	Sagittarius	18h 23m	-24°52′	5,5	8,5
M29	NGC 6913		AA	Cygnus	20h 23m	+38°27′	2,2	9
M30	NGC 7099		AG	Capricornus	21h 39m	-23°15′	7,7	8,5
M31	NGC 224	Galáxia do Triângulo	GS	Andromeda	0h 42m	-41°09′	770	3,5
M32	NGC 221		GE	Andromeda	0h 42m	+40°45′	890	10
M33	NGC 598		GS	Triangulum	1h 33m	+30°33′	794	7
M34	NGC 1039		AA	Perseus	2h 41m	+42°43′	0,4	6
M35	NGC 2168		AA	Gemini	6h 08m	+24°21′	0,9	5,5
M36	NGC 1960		AA	Auriga	05h 35m	+34°05′	1,3	6,5
M37	NGC 2099		AA	Auriga	05h 52m	+32°33′	1,4	6
M38	NGC 1912		AA	Auriga	05h 27m	+35°48′	1,3	7
M39	NGC 7092		AA	Cygnus	09h 32m	+48°21′	0,1	5,5
M40			est. d.**	Ursa Major	12h 22m	+58° 05′	1,67	9
M41	NGC 2287		AA	Canis Major	06h 46m	-20°43′	0,7	5

	NGC	Nome	Tipo	Constelação	α	δ	D(kpc)	m_v
M42	NGC 1976	Grande Nebulosa de Órion	HII	Orion	05h 34m	-05°24'	0,5	5
M43	NGC 1982		HII	Orion	05h 35m	+05°18'	0,5	7
M44	NGC 2632		AA	Cancer	08h 39m	+20°04'	0,2	4
M45		Plêiades	AA	Taurus	03h 46m	-24°06'	0,1	1,4
M46	NGC 2437		AA	Puppis	07h 41m	-14°46'	1,7	6,5
M47	NGC 2422		AA	Puppis	07h 36m	-14°27'	0,5	4,5
M48	NGC 2548		AA	Hydra	08h 13m	-05°43'	0,5	5,5
M49	NGC 4472		GE	Virgo	12h 29m	+08°07'	18000	10
M50	NGC 2323		AA	Monoceros	07h 02m	-08°19'	0,9	7
M51	NGC 5194 NGC 5195	Galáxia do Redemoinho	GS	Canes Venatici	13h 29m	+47°18'	11300	8
M52	NGC 7654		AA	Cassiopeia	23h 23m	+61°29'	2,1	8
M53	NGC 5024		AG	Coma Berenices	13h 12m	+18°17'	17,2	8,5
M54	NGC 6715		AG	Sagittarius	18h 54m	-30°30'	25,5	8,5
M55	NGC 6809		AG	Sagittarius	19h 39m	-31°00'	5,2	7
M56	NGC 6779		AG	Lyra	19h 16m	+30°08'	9,8	9,5
M57	NGC 6720	Nebulosa do Anel	NP	Lyra	18h 53m	+33°01'	0,7	9,5
M58	NGC 4579		GSb	Virgo	12h 37m	+11°56'	18000	11
M59	NGC 4621		GE	Virgo	12h 41m	+11°47'	18000	11,5
M60	NGC 4649		GE	Virgo	12h 43m	+11°41'	18000	10,5
M61	NGC 4303		GS	Virgo	12h 21m	+04°36'	18001	10,5
M62	NGC 6266		AG	Ophiuchus	17h 00m	-30°05'	6,7	8
M63	NGC 5055	Galáxia do Girassol	GS	Canes Venatici	13h 15m	+42°08'	11300	8,5
M64	NGC 4826		GS	Coma Berenices	12h 56m	+21°48'	3700	9
M65	NGC 3623		GSb	Leo	11h 18m	+13°13'	10700	10,5
M66	NGC 3627		GSb	Leo	11h 19m	+13°07'	10700	10
M67	NGC 2682		AA	Cancer	08h 50m	+11°54'	0,7	7,5
M68	NGC 4590		AG	Hydra	12h 38m	-26°38'	9,8	9
M69	NGC 6637		AG	Sagittarius	18h 30m	-32°23'	7,7	9
M70	NGC 6681		AG	Sagittarius	18h 42m	-32°18'	8,6	9
M71	NGC 6838		AG	Sagittarius	19h 53m	+18°44'	3,7	8,5
M72	NGC 6981		AG	Aquarius	20h 52m	-12°39'	16,3	10
M73	NGC 6994		AA	Aquarius	20h 58m	-12°38'	8,15	9
M74	NGC 628		GS	Pisces	01h 36m	+15°41'	10700	10,5
M75	NGC 6864		AG	Sagittarius	20h 05m	-21°59'	17,8	9,5
M76	NGC 650 NGC 651		NP	Perseus	01h 41m	+51°28'	1	12
M77	NGC 1068		GS	Cetus	02h 42m	-00°04'	18000	10,5
M78	NGC 2068			Orion	05h 46m	+00°02'	0,5	8
M79	NGC 1904		AG	Lepus	05h 23m	-24°32'	12,3	8,5
M80	NGC 6093		AG	Scorpius	16h 16m	-22°56'	8,3	8,5
M81	NGC 3031	Galáxia de Bode	GS	Ursa Major	09h 54m	+69°09'	3400	8,5
M82	NGC 3034	Galáxia da Cigarra	GI	Ursa Major	09h 54m	+69°47'	3400	9,5
M83	NGC 5236		GS	Hydra	13h 36m	-29°46'	3100	8,5
M84	NGC 4374		GE	Virgo	12h 24m	+13°00'	18000	11
M85	NGC 4382		GE	Coma Berenices	12h 24m	+18°18'	18000	10,5
M86	NGC 4406		GE	Virgo	12h 25m	+13°03'	18000	11
M87	NGC 4486		GE	Virgo	12h 30m	+12°30'	18000	11
M88	NGC 4501		GS	Coma Berenices	12h 31m	+14°32'	18000	11
M89	NGC 4552		GE	Virgo	12h 35m	+12°40'	18000	11,5
M90	NGC 4569		GS	Virgo	12h 36m	+13°16'	18000	11
M91	NGC 4548		GSb	Coma Berenices	12h 35m	+14° 30'	18000	11,5
M92	NGC 6341		AG	Hercules	17h 17m	+43°10'	8	7,5
M93	NGC 2447		AA	Puppis	17h 44m	-23°49'	1,4	6,5
M94	NGC 4736		GS	Canes Venatici	12h 50m	+41°14'	4500	9,5
M95	NGC 3351		GS	Leo	10h 43m	+11°49'	12000	11
M96	NGC 3368		GS	Leo	10h 46m	+11°56'	12000	10,5
M97	NGC 3587	Nebulosa da Coruja	NP	Ursa Major	11h 14m	+55°08'	0,8	12
M98	NGC 4192		GS	Coma Berenices	12h 13m	+15°01'	18000	11
M99	NGC 4254		GS	Coma Berenices	12h 18m	+14°32'	18000	10,5

	NGC	Nome	Tipo	Constelação	α	δ	D(kpc)	m_v
M100	NGC 4321		GS	Coma Berenices	12h 22m	+15° 56'	18000	10,5
M101	NGC 5457		GS	Ursa Major	14h 03m	+54° 27'	7000	8,5
M102***	NGC 5866		GE	Draco	15h 06m	+55° 46'	15000	9,9
M103	NGC 581		AA	Cassiopeia	01h 32m	+60° 35'	2,5	7
M104	NGC 4594	Galáxia do Sombrero	GS	Virgo	12h 40m	-11° 37'	12000	9,5
M105	NGC 3379		GE	Leo	10h 48m	+12° 35'	12000	11
M106	NGC 4258		GS	Canes Venatici	12h 19m	+47° 18'	8000	9,5
M107	NGC 6171		AG	Ophiucus	16h 32m	-13° 03'	6,1	10
M108	NGC 3556		GS	Ursa Major	11h 11m	+55° 40'	14000	11
M109	NGC 3992		GSb	Ursa Major	11h 58m	+53° 23'	17000	11

LEGENDA

AA = Aglomerado Aberto. M34,35,36,37,38,39; M41; M44,45,46,47,48; M50; M52; M67; M73; M93; M103.

AG = Aglomerado Globular. M2,3,4,5; M9,10; M12,13,14,15; M19; M22; M28; M30; M53,54,55,56; M62; M68,69,70,71,72; M75; M79,80; M92; M107.

GE = Galáxia Elíptica. M32; M49; M59,60; M84,85,86,87; M89; M102; M105.

GI = Galáxia Irregular. M82.

GS = Galáxia Espiral. M31; M33; M51; M61; M63,64; M74; M77; M81; M83; M88; M90; M94,95,96; M98,99,100,101. M104; M106; M108.

GSb = Galáxia Espiral Barrada. M58; M65,66; M91; M109.

HII = Região de Gás Ionizado HII. M42,43.

ND = Nebulosa Difusa. M8; M16,17; M20.

NP = Nebulosa Planetária. M27; M57; M76; M97.

SN = Remanescente de Supernova. M1.

NOTAS

* M24: Este objeto é na verdade uma grande nuvem estelar na Via Láctea, um pseudo-aglomerado de estrelas espalhado por milhares de anos-luz. É uma porção de um dos braços da nossa galáxia.

** M40: Este é na verdade uma estrela dupla.

*** M102: Existem duas possibilidades para este objeto:

1. O M102 pode ter sido fruto de um erro do autor do catálogo ou do descobridor do objeto, Pierre Méchain. Na verdade o objeto observado seria a Galáxia Espiral NGC 5457, catalogada como M101.
2. Mais provavelmente, o M102 pode ser a Galáxia Lenticular NGC 5866 em Draco (cujos dados estão na tabela).

Índice Remissivo

- ângulo horário, 72
- Adams, Douglas, 10
- aglomerados
 - abertos, 130
 - globulares, 129
- Agosto (mês), 88
- Alexandre, 27
- altura, 69
- analema, 96
- ano, 48, 82
 - trópico, 82
- asterismos, 37
 - Arminha, 39
 - Big Dipper, 32, 38
 - Cruzeiro do Sul, 37
 - Grande W, 38
 - Híades, 54
 - Plêiades, 54, 129
 - Quadrado de Pegasus, 38
 - Três Marias, 38
- Asteroides Troianos, 23
- astrologia, 50
- avermelhamento interestelar, 128
- azimute, 70
- Bayer
 - Uranometria*, 31
 - Johann, 31
- Biblioteca de Alexandria, 27
- Bode, Johann Elert, 29
- Brahe
 - Tycho, 30
- céu, 12
- Círculo Máximo, 14
- círculos polares, 76
- calendário
 - chinês, 91
 - egípcio, 87
 - Gregoriano, 87
 - hindu, 92
 - judaico, 90
 - Juliano, 88
 - maia, 92
 - muçulmano, 89
- Caos, 23
- catálogo de nebulosa
 - IC, 123
 - Messier, 123
 - NGC, 123
- ciclo
 - de Méton, 90
 - de Saros, 119
 - sótico, 88
- constelações
 - bíblicas, 29
 - baseadas em instrumentos, 29
 - clássicas, 27
- constelações, história
 - Áries, 52
 - Aquário, 61
 - Câncer, 55
 - Cabeleira de Berenice, 28
 - Capricórnio, 60
 - Ema, 20
 - Escorpião, 58
 - Gêmeos, 54
 - Leão, 56
 - Libra, 58
 - Ofiúco, 63
 - Peixes, 62
 - Sagitário, 60
 - Touro, 53
 - Virgem, 57
- critério de nomeação das estrelas, 31
- Cronos, 11
- culminação
 - inferior, 83
 - superior, 83
- declinação, 72
- deuses gregos
 - marítimos, 24
 - olímpicos, 24

- primordiais, 23
- titãs, 23
- dia
 - sideral, 83
 - solar, 83
 - solar médio, 96
- direções cardeais
 - Leste, 14
 - Norte, 15
 - Oeste, 14
 - Sul, 15
- Dreyer, John, 123
- Eclíptica, 50, 74
- eclipse
 - lunar, 118
 - solar, 118
- Eixu, 129
- equação do tempo, 97
- equador
 - celeste, 14
 - terrestre, 13
- equinócios, 49, 74
- Eratóstenes, 16, 27
- Esfera Celeste, 13
- estádio, 17
- estrelas
 - α Vir (Spica), 20
 - α Psc (Al Rischa), 62
 - α Ari (Hamal), 53
 - α Cap (Giede), 61
 - α Leo (Regulus), 57
 - α Lyr, 105
 - α Sco (Antares), 59
 - α Tau (Aldebaran), 54
 - α Vir (Spica), 58
 - σ Octans, 15
 - σ Cet (Mira), 33
 - Estrela de Barnard, 110
 - Polaris, 15, 105
- estrelas circumpolares, 15
- estrelas mais brilhantes, 45
- estrelas reais persas, 57
- Flamengo, C. R., 89
- gás interestelar, 124
- Gaia, 23
- Galileu
 - Sidereus Nuncius*, 114
- Gilgamesh, Epopéia de, 26
- hemisférios, 14
- Herschel, William, 136
- Hesíodo
 - Teogonia*, 23
- Hevelius
 - Cometographia*, 33
 - Firmamentum Sobiescianum*, 33
 - Historiola Mirae*, 33
 - Prodromus Astronomiae*, 33
 - Selenographia*, 33
 - Johannes, 33
- Hiparco de Nicéia, 27
- Homero
 - Ilíada*, 23
 - Odisséia*, 23
- hora
 - civil, 85
 - sideral, 84
 - solar, 84
 - solar média, 96
 - verdadeira, 85
- horizonte, 13
 - astronômico, 13
 - verdadeiro, 13
- Hubble, Edwin, 131
- Hug-Bug, 13, 113
- IAU, 20
- inverno, 49
- Julho (mês), 88
- Kant, Immanuel, 135
- Kapteyn
 - universo de, 137
- Kepler
 - Somnium*, 114
 - Tábuas Rudolfinas, 31
- Lacaille
 - Nicolas-Louis de, 33
- latitude, 73
- longitude, 73
- Lord Rosse, 130
- Lua
 - face iluminada / escura, 116
 - face visível / oculta, 116
 - libração, 116
- mês
 - anomalístico, 87
 - draconiano / nodal, 87

- sidereal, 86
- sinódico, 86
- meridiano
 - de Greenwich, 73
- meridiano local, 70
- Messier, Charles, 123
- Micenas, 22, 25
- milha marítima, 19
- Movimento Próprio, 108
- nadir, 70
- nascer helíaco, 48, 82
- nebulosa, 123
 - Abell 39, 124
 - da Águia (M16), 134
 - de Andrômeda (M31), 130
 - do Órion, Grande (M42), 123, 126
 - do Anel (M57), 123
 - do Cabeça da Bruxa, 127
 - do Caranguejo (M1), 124
 - do Redemoinho (M51), 130
 - do Saco de Carvão, 128
 - Trífida (M20), 126
- nebulosa escura, 128
- nebulosa planetária, 125
- nebulosa resto de supernova, 124
- nodos lunares, 119
- nutação, 107
- outono, 49
- pólos
 - celestes, 15
 - da Terra, 15
- Pequena Nuvem de Magalhães, 132
- Perseu, 25
- Petkovic, Dejan, 89
- Plancius
 - Petrus, 30
- planetas, 122
- poluição luminosa, 36
- ponto vernal, 74
- precessão dos equinócios, 27, 105
- primavera, 49
- Ptolomeu
 - Almagestum*, 27
 - Claudius, 27
- revolução
 - da Lua, 116
 - da Terra, 74
- rotação
 - da Lua, 116
 - da Terra, 74
- Sacrobosco
 - Tratado da Esfera*, 16
 - Johannes, 16
- Schiller
 - Coelum Stellatum Christianum*, 29
 - Julius, 29
- semi-esferas, 14
- Siena, 16
- sistema de coordenadas
 - eclíptico, 78
 - equatorial local, 72
 - equatorial universal, 76
 - horizontal, 71
 - terrestres, 73
- Sol, 48
- solstício, 48
- solstícios, 74
- Stellarium, 37
- Supernova de 1054, 124
- Tolkien
 - O Senhor dos Anéis*, 14
- trópicos, 75
- Triângulo
 - AAS, 47
 - Assiz-Hallak, 47
 - de Inverno, 47
 - de Verão, 47
- Tycho Brahe, 136
- União Astronômica Internacional, 20
- universo-ilha, 136
- Uranos, 23
- verão, 49
- Via Láctea, 135
- Victor, 10
- Wright, Thomas, 135
- zênite, 13, 70
- zodíaco
 - casas zodiacais, 50
 - definição, 50