

# Projeto Céu Profundo

## PRIMEIRA LUZ

### Uma Introdução à Observação do Céu

Wandeclyt Melo

Esta publicação pode ser baixada gratuitamente de:  
[www.ceuprofundo.com/primeira-luz](http://www.ceuprofundo.com/primeira-luz)



# **Projeto Céu Profundo**

## **PRIMEIRA LUZ**

### **Uma Introdução à Observação do Céu**

Wandeclyt Melo

Esta publicação pode ser baixada gratuitamente de:  
[www.ceuprofundo.com/primeira-luz](http://www.ceuprofundo.com/primeira-luz)

2026

Certas marcas comerciais e fabricantes de equipamentos podem aparecer identificados no texto para descrever instrumentos ou procedimentos. Esta publicação não recebeu qualquer apoio financeiro ou material destas marcas e estas identificações não constituem recomendações implícitas ou explícitas de quaisquer marcas e fabricantes citados.

**Projeto Céu Profundo**  
**125 páginas (2026)**

**Esta publicação pode ser baixada gratuitamente de:**  
**[www.ceuprofundo.com/primeira-luz](http://www.ceuprofundo.com/primeira-luz)**

## **Prefácio**

O céu estrelado corresponde a um dos fenômenos naturais que mais exerceu fascínio sobre o ser humano. A disposição das estrelas captou a imaginação de inúmeros povos que nelas buscaram padrões reconhecíveis, passados às gerações vindouras através de narrativas orais. A regularidade com que o aspecto do céu se altera, atrelado às mudanças das estações do ano, permitiu a tradução de configurações celestes em conhecimento útil para uso na agricultura e na navegação, ainda atualmente válido para aqueles que o dominam. Tamanha majestuosidade da noite ampliou a sensação de pequenez que o homem sente diante do Universo, motivando a criação de mitos e crenças profundamente arraigadas à nossa psique.

Tantos ainda ficam deslumbrados com a observação do céu noturno e quantos não se perguntam, nesse momento, onde poderiam aprender mais sobre o que há no céu. O mundo atual oferece muitas possibilidades para isso: há livros, vídeos e páginas online que descrevem desde o céu do mês às novidades recém-descobertas por astrônomos. Muitos desses recursos encontram-se em inglês, o que limita um tanto o público que os usará. Outros, em especial os recursos multimidiáticos, são produzidos e veiculados por canais de natureza flagrantemente comercial, mais interessados em ampliar o acesso do público através de polêmicas e informações imprecisas, por vezes conspiratórias, do que em transmitir o conhecimento com o rigor adequado.

É justamente por isso que *Primeira Luz* torna-se uma obra necessária. Temos aqui um livro sobre Astronomia feito com esmero para instruir novos astrônomos cidadãos, que poderão aprender como reconhecer o céu e participar dessa construção coletiva do conhecimento humano. Escrito por Wandeclyt Melo, do projeto *Céu Profundo*, *Primeira Luz* traz vários tópicos necessários para que o leitor possa apreciar e reconhecer o céu. Começamos pela descrição dos catálogos, para entender a nomenclatura dos astros, de onde vem os nomes das estrelas e outras tantas siglas alfanuméricas; afinal, damos nomes às coisas que buscamos conhecer. O livro prossegue, explorando os sistemas de coordenadas usadas na astronomia, fundamentais para a localização do corpo celeste na grande tela do firmamento. Um dos capítulos mais valiosos para o leitor há de ser aquele em que Wandeclyt descreve os equipamentos necessários para a realização das observações; ele o faz com a autoridade de quem possui anos e anos de observação noturna e astrofotografia, transmitindo em palavras o conhecimento prático que logrou adquirir ao longo dessas atividades. Por fim, temos capítulos dedicados aos principais alvos que podemos observar: o Sol, a Lua, os Planetas, os Cometas e as Estrelas, cada qual enriquecido por várias dicas sobre o que um astrônomo cidadão pode fazer na coleta de dados, inclusive na colaboração com a pesquisa de astrônomos profissionais.

Ao percorrer estas páginas, o leitor descobrirá que aprender a observar o céu é muito mais do que adquirir uma técnica ou um passatempo; é um ato de reconexão com uma tradição ancestral de questionamento e admiração. Ao decifrar as coordenadas celestes, ao identificar um planeta ou ao acompanhar o ritmo suave das fases lunares, o indivíduo não

apenas expande seu próprio horizonte, mas também cultiva uma percepção mais lúcida e humilde do seu lugar no cosmos. Essa consciência, que nasce do diálogo silencioso entre o observador e a imensidão estrelada, é talvez a maior contribuição da astronomia amadora: transformar a contemplação do infinito em um profundo entendimento sobre a finitude, a beleza e a interligação de tudo o que compõe o nosso mundo.

Helio J. Rocha-Pinto  
Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira entre 2020 e 2026

**Palavras chave**

astronomia, observação, telescópios, ciência cidadã, divulgação.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>O Céu</b>	<b>3</b>
1.1	O Que Há no Céu?	3
1.2	Uranometria - O Atlas Celeste de Johann Bayer	8
1.3	Flamsteed - O Primeiro Catálogo Telescópico	11
1.4	Messier - Cometas e Céu Profundo	13
1.5	NGC - O Legado da Família Herschel	17
1.6	Magnitude Aparente	25
1.7	O Céu Moderno	27
<b>2</b>	<b>Coordenadas Celestes</b>	<b>32</b>
2.1	Coordenadas Geográficas	32
2.2	O Meridiano Principal	33
2.3	A Esfera Celeste	37
2.4	Coordenadas Celestes Equatoriais	41
2.5	Precessão	43
2.6	Coordenadas Horizontais	46
2.6.1	Fenômenos Astronômicos em Coordenadas Horizontais	48
2.6.2	Observador no Polo Norte	49
2.6.3	Observador no Polo Sul	51
2.6.4	Observador no Equador	53
2.6.5	Observador em uma Latitude Arbitrária	54
2.7	Tempo Sideral e Ângulo Horário	55
2.8	Equação do Tempo	55
2.9	Coordenadas Eclípticas	56
<b>3</b>	<b>Telescópios</b>	<b>60</b>
3.1	Por que Precisamos de Telescópios?	60
3.2	Resolução	69
3.3	Aumento	73
3.4	Refratores	75
3.5	Refletores	79
3.6	Catadióptricos	81
3.7	Oculares	83
3.8	Lentes Barlow	86
3.9	Binóculos	87
3.10	<i>Smart Telescopes</i>	89
3.11	Montagens	91
3.11.1	Montagem Altazimutal	91
3.11.2	Montagem Equatorial	94
3.12	Resumo	98
	<b>Referências</b>	<b>101</b>

<b>Apêndice A: Alfabeto Grego</b>	<b>104</b>
<b>Apêndice B: Lista de Constelações (IAU)</b>	<b>105</b>
3.13 Incluindo Objetos no Stellarium	108
<b>Apêndice C: Automatizando o Stellarium</b>	<b>108</b>
<b>Apêndice D: Demonstrações, Equações e Scripts</b>	<b>116</b>
3.14 Scripts	117
A Superlua é mesmo Super?	118
A terceira lei de Kepler	120
Magnitude limite	121
Magnitude absoluta	122
Propriedades dos Logaritmos	123
Image Magick	124
<b>Apêndice E: Histórico de Versões</b>	<b>125</b>

## Lista de Figuras

Fig. 1	Gravura do livro <i>L'Atmosphère: Météorologie Populaire</i> , de Camille Flammarion (1888) retratando um missionário medieval encontrando o ponto onde o céu e a Terra se tocam.	3
Fig. 2	A constelação do Escorpião, no Livro das Estrelas Fixas, de Al-Sufi (Séc. X). Créditos: Library of Congress.	4
Fig. 3	Diagrama da constelação de Cassiopeia do catálogo de Tycho, exibindo a posição da supernova observada em 1572 (SN1572; B Cassiopeiae). Créditos: Library of Congress.	5
Fig. 4	Grande Quadrante de Tycho Brahe. Um de seus muitos instrumentos para medidas de posição descritos no livro <i>Astronomiæ instauratæ mechanica</i> . Créditos: Library of Congress.	6
Fig. 5	Primeira página do catálogo estelar de Tycho Brahe, incluído na obra <i>Astronomiæ instauratæ progymnasmata</i> (1602). Créditos: <a href="#">Library of Congress</a> .	7
Fig. 6	Detalhe da arte da constelação de Órion no atlas <i>Uranometria</i> , de Johann Bayer (1603). Créditos: <a href="#">ETH-Bibliothek Zürich</a> .	8
Fig. 7	Tabela da constelação de Órion, no <i>Uranometria</i> de Bayer. Créditos: <a href="#">ETH-Bibliothek Zürich</a> .	9
Fig. 8	<i>Historiæ Coelestis Britannicæ</i> , de John Flamsteed.	11
Fig. 9	Carta celeste com as trajetórias do cometa observado em 1531, 1607 e 1682 e com retorno previsto por Halley para o ano de 1758. Créditos: <a href="#">Bibliothèque nationale de France</a> .	14
Fig. 10	Última versão publicada por Messier do Catálogo de Nebulosas e Aglomerados Estelares, no almanaque <i>Connaissance des Temps, ou Connoissance des Mouvemens Célestes Pour l'Année bissextile 1784</i> . Créditos: <a href="#">Bibliothèque nationale de France</a> .	15
Fig. 11	O Catálogo de Estrelas, com os dados de observação de John Flamsteed, revisados por Caroline Herschel.	18
Fig. 12	O primeiro catálogo de estrelas duplas de William Herschel, de 1782, publicado no <i>Philosophical Transactions of the Royal Society of London</i> (1782). Créditos: The Royal Society.	19
Fig. 13	Apresentação do catálogo de 1000 novas nebulosas e aglomerados estelares de William Herschel. O primeiro catálogo de objetos de céu profundo dos Herschel, publicado no <a href="#">Philosophical Transactions of the Royal Society of London</a> em 1786. Créditos: Internet Archive.	20
Fig. 14	Telescópio de 40 pés (12 m) de distância focal, o maior telescópio de sua época. Imagem publicada no <i>Philosophical Transactions of the Royal Society of London</i> (1795). Créditos: The Royal Society.	21
Fig. 15	O <i>Catálogo Geral de Nebulosas e Aglomerados de Estrelas</i> , de John F. W. Herschel, com 5079 objetos. Publicado em <i>Philosophical Transactions of the Royal Society</i> (1864). Créditos: The Royal Society.	22

Fig. 16	Suplemento ao Catálogo Geral de John F. W. Herschel, elaborado por J. L. E. Dreyer. O suplemento traz notas e correções e incorpora os objetos de número 5080 a 6251, após os 5079 objetos listados por John Herschel. Créditos: University of California Libraries/Internet Archive.	23
Fig. 17	New General Catalogue (NGC) de J. L. E. Dreyer, com 7840 objetos de céu profundo, publicado em 1888. Créditos: The Royal Astronomical Society/Internet Archive.	24
Fig. 18	Uma das linhas do New General Catalogue, correspondente ao objeto NGC 4590. Créditos: The Royal Astronomical Society/Internet Archive.	24
Fig. 19	Constelações de Órion, Touro, Gêmeos e Cão Menor no atlas Uranographia (1801) de Johann Elert Bode. No canto inferior direito aparece a constelação Harpa de George, não adotada pela IAU entre as constelações atuais. Créditos: <a href="#">ETH-Bibliothek Zürich</a>	27
Fig. 20	A constelação do Cruzeiro do Sul. Carta gerada no programa <i>SkyCharts</i> .	29
Fig. 21	Interface do programa Stellarium. Na tela, uma porção do céu austral, exibindo objetos do céu profundo e as bordas das constelações. Informações sobre o aglomerado globular $\omega$ Centauri (NGC 5139) estão visíveis na tela.	30
Fig. 22	Interface do programa Sky Charts (Cartes du Ciel).	31
Fig. 23	Paralelos marcando latitudes a cada $10^\circ$ . O paralelo $0^\circ$ corresponde ao equador terrestre. Gráfico gerado com a biblioteca Cartopy. Créditos: Wandeclyt Melo.	32
Fig. 24	Meridianos espaçados de $10^\circ$ a partir do meridiano central. Gráfico gerado com a biblioteca Cartopy. Créditos: Wandeclyt Melo.	33
Fig. 25	Resoluções I e II da <i>International Meridian Conference</i> , de 1884, adotando o meridiano de Greenwich, como meridiano central.	35
Fig. 26	Representação da esfera celeste envolvendo o globo terrestre. Créditos: Wandeclyt Melo.	37
Fig. 27	Projeção do equador e dos polos terrestres na esfera celeste, definindo o equador e os polos celestes. Créditos: Wandeclyt Melo.	38
Fig. 28	Esfera celeste com a representação da eclíptica e do equador e polos celestes. O plano do equador é inclinado $23,4^\circ$ em relação à eclíptica. Créditos: Wandeclyt Melo.	39
Fig. 29	Hemisférios celestes. O Equador divide a esfera celeste em Hemisfério Sul Celeste (esq.	41
Fig. 30	Esfera celeste com indicação dos paralelos de declinação. Créditos: Wandeclyt Melo.	42
Fig. 31	A Esfera Celeste com o Sistema de Coordenadas Equatoriais. A declinação ( $\delta$ ) é equivalente à latitude e a ascensão reta ( $\alpha$ ) equivale à longitude. O ponto vernal ( $\Upsilon$ ), uma das intersecções entre o equador celeste e a eclíptica, é a origem da coordenada Ascensão Reta, medida de 0 h a 24 h, com valores crescentes a leste. Créditos: Wandeclyt Melo.	43
Fig. 32	Precessão do eixo terrestre.	44

Fig. 33	Captura de tela do software Stellarium com informações do objeto NGC 5139 ( $\omega$ Cen).	45
Fig. 34	Hemisfério celeste zenital (acima do horizonte). Estão representados o zênite, os pontos cardeais e o plano do meridiano local. Créditos: Wandeclyt Melo.	46
Fig. 35	Altura (em laranja) e distância zenital (em magenta). No exemplo da figura, a altura ( $A$ ) do objeto é $60^\circ$ e a distância zenital ( $Z$ ) é $Z = 90^\circ - A = 30^\circ$ .	47
Fig. 36	Um observador no polo norte terrestre teria o polo norte celeste no zênite e o hemisfério norte celeste estaria sempre visível acima do horizonte.	49
Fig. 37	Hemisfério Norte Celeste. Carta plotada utilizando script Python desenvolvido pelo Projeto Céu Profundo.	50
Fig. 38	Um observador no polo sul terrestre teria o polo sul celeste no zênite e o hemisfério sul celeste estaria sempre visível acima do horizonte.	51
Fig. 39	Hemisfério Sul Celeste. Carta plotada utilizando script Python desenvolvido pelo Projeto Céu Profundo.	52
Fig. 40	Equador celeste e meridiano de um observador sobre a linha do equador terrestre.	53
Fig. 41	Equador celeste, meridiano e polo sul celeste para um observador posicionado $23^\circ$ ao sul do equador terrestre.	54
Fig. 42	Incidência da luz solar ao longo de um ano. Os gráficos simulam o ponto de vista de um satélite geoestacionário, sobre o equador e acima do meridiano de longitude $60^\circ$ oeste. Gráficos gerados com a biblioteca python Cartopy. Créditos: Wandeclyt Melo.	57
Fig. 43	Incidência da luz solar nos solstícios e nos equinócios. Gráficos gerados com a biblioteca python Cartopy. Créditos: Wandeclyt Melo.	58
Fig. 44	Em condições como as encontradas no Observatório do Pico dos Dias, em Brazópolis, no sul de Minas Gerais, sob um céu escuro, preservado da poluição luminosa, a Via Láctea aparece como uma faixa brilhante cruzando o céu de inverno, facilmente vista a olho nu. Outros objetos de céu profundo como nebulosas e aglomerados estelares são também perceptíveis sem a ajuda de instrumentos. Créditos: Wandeclyt M.	60
Fig. 45	Parte do espectro eletromagnético compreendendo a faixa visível ao olho humano e as regiões do ultravioleta e do infravermelho próximo. Créditos: Wandeclyt M.	61
Fig. 46	Espectro eletromagnético, dos raios-X até as ondas de rádio. Créditos: Wandeclyt M.	61
Fig. 47	Sensibilidade relativa do olho humano em função do comprimento de onda da luz. A região de maior sensibilidade observada na curva, em torno de $550\text{ nm}$ , corresponde à luz verde. Gráfico: Wandeclyt M. com dados de Warren J. Smith [1].	62
Fig. 48	Espectro solar obtido com o telescópio SUNS. Dados: CRAAM/Mackenzie. Cortesia: Dr. Paulo Simões.	63

Fig. 49	Sensibilidade relativa dos cones azuis, verdes e vermelhos no olho humano. Gráfico: Wandeclyt M. com dados de Stockman & Sharpe[2] e <a href="#">Colour &amp; Vision Research Laboratory</a> , University College London.	63
Fig. 50	Curvas de sensibilidade relativa das visões fotópica e escotópica. Na visão escotópica (adaptada ao escuro), o pico de sensibilidade se desloca em direção aos comprimentos de onda mais curtos. Gráfico: Wandeclyt M. com dados de Warren J. Smith [1]	64
Fig. 51	Durante observação visual, o uso de iluminação vermelha é uma forma de preservar a adaptação da visão à escuridão. Foto: Wandeclyt M./Projeto Céu Profundo.	65
Fig. 52	Região da constelação de Orion, com indicação da posição da nebulosa M42 e de suas principais estrelas. Créditos: Wandeclyt M.	66
Fig. 53	Tela vermelha no modo noturno do aplicativo Star Chart. Aplicativos com uso em astronomia costumam implementar um modo noturno para preservar a adaptação visual ao escuro.	67
Fig. 54	Telescópio Perkin-Elmer de 1,60 m de diâmetro no Observatório do Pico dos Dias (OPD) em Brazópolis - MG. Este é o maior telescópio em solo brasileiro. Créditos: Wandeclyt Melo.	68
Fig. 55	Lei de Dawes: Abertura x Resolução. Créditos: Wandeclyt Melo.	69
Fig. 56	Simulação do padrão de difração de Airy em um telescópio de 200 mm. A escala de intensidade é logarítmica, para realçar os anéis concêntricos. Créditos: Wandeclyt Melo.	70
Fig. 57	Simulação da imagem de uma estrela observada com o mesmo aumento em telescópios de diferentes aberturas. Créditos: Wandeclyt Melo.	71
Fig. 58	Simulação da resolução de telescópios com aberturas de 200 mm, 300 mm e 400 mm ao observar duas estrelas com separação de 0,5 segundos de arco. Créditos: Wandeclyt Melo.	72
Fig. 59	Aberração cromática em uma lente simples (singleto). Diagrama: Wandeclyt Melo.	75
Fig. 60	Dubleto Acromático	76
Fig. 61	Telescópio refrator acromático de 120 mm Sky-Watcher. Créditos: Sky-Watcher.	77
Fig. 62	Telescópio refrator apocromático de 122 mm SVBONY. Créditos: SVBONY.	77
Fig. 63	Esquema óptico simplificado de um telescópio refrator. Diagrama gerado com a biblioteca Python KrakenOS [3]. Créditos: Wandeclyt Melo.	78
Fig. 64	Telescópio refletor de 114 mm de abertura Cosmos Sky Friend. Créditos: Telescópios Cosmos.	79
Fig. 65	Esquema óptico simplificado de um telescópio refletor newtoniano. Diagrama gerado com a biblioteca Python KrakenOS [3]. Créditos: Wandeclyt Melo.	80
Fig. 66	Telescópio Celestron Schmidt-Cassegrain de 8" em montagem altazimutal computadorizada [Celestron]	81

Fig. 67	Esquema óptico simplificado de um telescópio refletor Cassegrain. Diagrama gerado com a biblioteca Python KrakenOS [3]. Créditos: Wandeclyt Melo.	82
Fig. 68	Ocular Celestron Omni Plössl de 15 mm, com campo (FOV) aparente 50°. Créditos: Celestron.	84
Fig. 69	Ocular TeleVue Plössl de 20 mm de distância focal, campo (FOV) aparente de 50°. Créditos: Tele Vue.	84
Fig. 70	Ocular Celestron Plössl de 40 mm, série Omni, com campo (FOV) aparente 43°. Créditos: Celestron.	84
Fig. 71	Ocular TeleVue Nagler de 31 mm, com campo (FOV) aparente 82°. Créditos: Tele Vue Optics.	85
Fig. 72	Lente Barlow 2X Celestron, série Omni. Créditos: Celestron.	86
Fig. 73	Binóculos Celestron série Cometron 7x50mm. Créditos: Celestron.	87
Fig. 74	Binóculos Celestron série SkyMaster 20x80mm. Créditos: Celestron.	88
Fig. 75	Binóculos Celestron série SkyMaster 20x80 mm montado em tripé. Créditos: Celestron.	88
Fig. 76	Smart Telescope ZWO Seestar S50, em frente ao prédio do telescópio Perkin-Elmer de 1,60 m do Observatório do Pico dos Dias (OPD). Créditos: Wandeclyt M.	89
Fig. 77	Imagem da Nebulosa Trífida (M20), com tempo total de exposição de 42 mim, capturada com telescópio Seestar S50. Créditos: Wandeclyt M.	90
Fig. 78	Telescópio refletor de 10" em montagem altazimutal dobsoniana. Créditos: Sky-Watcher.	91
Fig. 79	Tripé com montagem altazimutal Explore Scientific, modelo Twilight Nano, para telescópios de até 6 kg. Créditos: Explore Scientific.	92
Fig. 80	Telescópio Celestron CPC Deluxe 1100 HD em montagem altazimutal computadorizada. Créditos: Celestron.	93
Fig. 81	A rotação da Terra fica evidenciada nesta imagem com 30 minutos de tempo de exposição, registrada na cidade de Itatim, na Bahia. Créditos: Wandeclyt Melo.	94
Fig. 82	Montagem equatorial Sky-Watcher EQ5 com tripé de aço. Créditos: Sky-Watcher.	95
Fig. 83	Cunha Equatorial. Créditos: Celestron.	96
Fig. 84	Tracker modelo Star Adventurer. Créditos: Sky-Watcher.	96
Fig. 85	Montagem equatorial robótica Paramount de alta precisão. Créditos: Software Bisque.	97
Fig. 86	Tela do planetário virtual Stellarium, exibindo a constelação do Escorpião e informações sobre a estrela Antares	108
Fig. 87	Console de scripts do Stellarium.	109
Fig. 88	Hello World	111
Fig. 89	Analema, exibido no céu do Observatório do Pico dos Dias (OPD). Créditos: Wandeclyt M.	115

## Introdução

“Uma experiência de aprendizado é algo que te diz:  
- Sabe isso que você acabou de fazer? Não faça de novo!”

---

Douglas Adams

“*Primeira Luz*” é a expressão que usamos para nos referir à primeira observação feita com um telescópio ou outro instrumento astronômico. É a primeira exposição desse instrumento ao céu. Um batismo de luz.

“*Primeira Luz*” é também o nome deste livro e do curso de introdução à observação do céu e à Astronomia Cidadã ministrado pelo **Projeto Céu Profundo no Museu Interativo de Ciências (MIC)** em São José dos Campos - SP, com apoio do **Observatório de Astronomia e Física Espacial da UNIVAP**.

O curso e o livro pretendem apresentar os fundamentos da observação do céu em um programa acessível, mas abrangente, englobando desde o reconhecimento do céu até o uso de ferramentas avançadas de planejamento, análise e visualização de dados astronômicos.

A proposta deste texto é servir como um primeiro passo em direção ao conhecimento do céu e como uma porta de entrada à observação, entrelaçando visões históricas e culturais a uma introdução técnica indispensável ao manuseio de instrumentos astronômicos.

Em muitos tópicos, preocupamo-nos em buscar fontes primárias e escavar os aspectos históricos por trás da Astronomia como a conhecemos e praticamos hoje. Apresentamos a origem de nomenclaturas, designações, padrões e convenções, mostrando como o reluzente tecido da astronomia contemporânea foi fiado através dos séculos.

Praticamente todos os gráficos e diagramas são inéditos, gerados para ilustrar com rigor os conceitos apresentados no texto, utilizando principalmente scripts desenvolvidos em linguagem Python. O ineditismo também se aplica às imagens astronômicas incluídas, geradas a partir de dados públicos de grandes telescópios e missões espaciais ou capturadas diretamente pelo autor. Em qualquer um desses casos, esforços não foram medidos para que os recursos de imagem se adequassem tão perfeitamente quanto possível ao desenvolvimento textual.

O texto se alicerça em referências bibliográficas que vão desde resoluções da União Astronômica Internacional (IAU) e recentes manuais de softwares até o longínquo Alma-

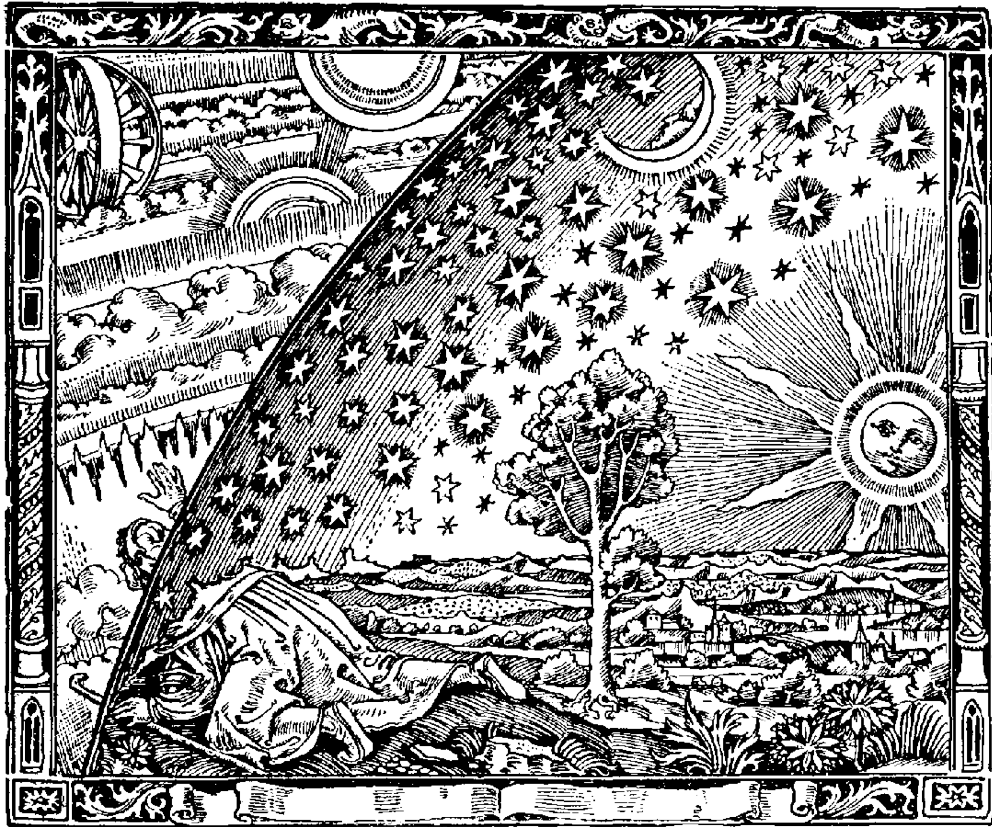
gesto, de Cláudio Ptolomeu, no Séc. II, passando pelas publicações de Tycho e Kepler, pelos primeiros atlas celestes, pelos catálogos de William, Caroline e John Herschel e pelas bases de dados abertas e observatórios virtuais que formam o sólido alicerce da pesquisa contemporânea em Astronomia. Mas ainda que repousemos sobre os ombros de gigantes, temos certeza de que falhas e inconsistências podem eventualmente ser encontradas no texto e ficaremos felizes em receber e incorporar correções que nos ajudem a aprimorar este trabalho.

Descortinando esse universo vasto, mas acessível aos olhos que sabem reconhecê-lo, esperamos despertar em você não apenas a curiosidade e o interesse pela observação, mas um verdadeiro amor pelo céu e suas maravilhas, pois como escreveu Olavo Bilac:

*“Amai para entendê-las, pois só quem ama pode ter ouvido, capaz de ouvir e entender estrelas”.*

## 1. O Céu

### 1.1 O Que Há no Céu?



**Fig. 1.** Gravura do livro *L'Atmosphère: Météorologie Populaire*, de Camille Flammarion (1888) retratando um missionário medieval encontrando o ponto onde o céu e a Terra se tocam.

Ao observar o céu noturno, o ser humano, inevitavelmente, independente de suas raízes culturais e de suas crenças, encontrou padrões e regularidades no movimento diurno dos astros, na disposição das estrelas e no movimento de certos objetos especiais. Ao perceber que as estrelas formavam agrupamentos fixos, foi possível mapear e nomear esses grupos. Ao perceber as regularidades e padrões que se repetem ciclicamente, foi possível marcar a passagem do tempo e estabelecer calendários baseados em fenômenos celestes.

Mas o céu é muito mais do que um relógio e um calendário. É também um livro de histórias. A diversidade cultural da humanidade está representada nos desenhos que cada povo enxergou nos agrupamentos de estrelas ou em como nomeou os corpos celestes.

Quando nos familiarizamos com o céu e começamos a identificar as constelações, somos apresentados às lendas, mitos e histórias representados na esfera celeste. Aprendemos uma nova forma de leitura.

Embora cada povo tenha associado suas próprias tradições e mitos aos grupos de estrelas, as constelações ocidentais modernas são essencialmente uma herança do catálogo elaborado pelo astrônomo e matemático grego Hiparco no séc. II a.C. e por seus antecessores Eudoxus (Séc. IV a.C.) e Eratóstenes (Séc. III a.C.).

No séc. II, Claudio Ptolomeu elabora o *Almagesto*, um compêndio da Astronomia grega que inclui, e atualiza, o catálogo de Hiparco. Ptolomeu lista 48 constelações.

O *Almagesto* foi traduzido, preservado e transmitido através da Idade Média principalmente por astrônomos do mundo islâmico, como o persa Abd al-Rahman al-Sufi, autor do *Livro das Estrelas Fixas*<sup>1</sup>, no séc. X (Fig. 2).



**Fig. 2.** A constelação do Escorpião, no Livro das Estrelas Fixas, de Al-Sufi (Séc. X). Créditos: Library of Congress.

Al-Sufi descreveu cada uma das 48 constelações definidas por Ptolomeu, incorporando suas próprias correções. Para cada constelação estão incluídas listas de estrelas, com posição, brilho (magnitude) e seus nomes árabes e traduções dos nomes próprios greco-romanos, além de ilustrações das constelações.

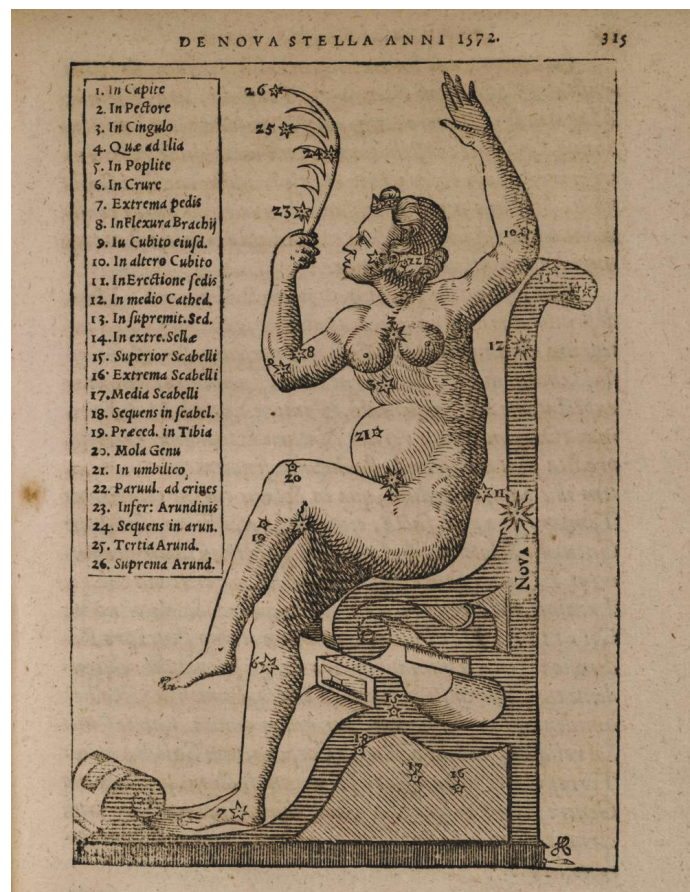
<sup>1</sup>Do árabe “*Kitāb ṣuwar al-kawākib*”.

No séc. XVI, os avanços da Astrometria, a parte da Astronomia que se ocupa de medidas de posição, permitiram que posições de objetos celestes fossem determinadas com crescente precisão, levando à necessidade de revisão e atualização dos antigos catálogos.

O Almagesto tinha então 1400 anos e, mesmo aplicando correções decorrentes da já bem conhecida precessão do eixo da Terra, era necessário eliminar tanto erros originais quanto os erros de transcrição e tradução ao longo dos séculos.

Essa revisão era uma necessidade urgente para o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), um minucioso observador cujos refinados dados de posição do planeta Marte permitiram a Johannes Kepler (1571-1630), seu discípulo, estabelecer as leis do movimento planetário.

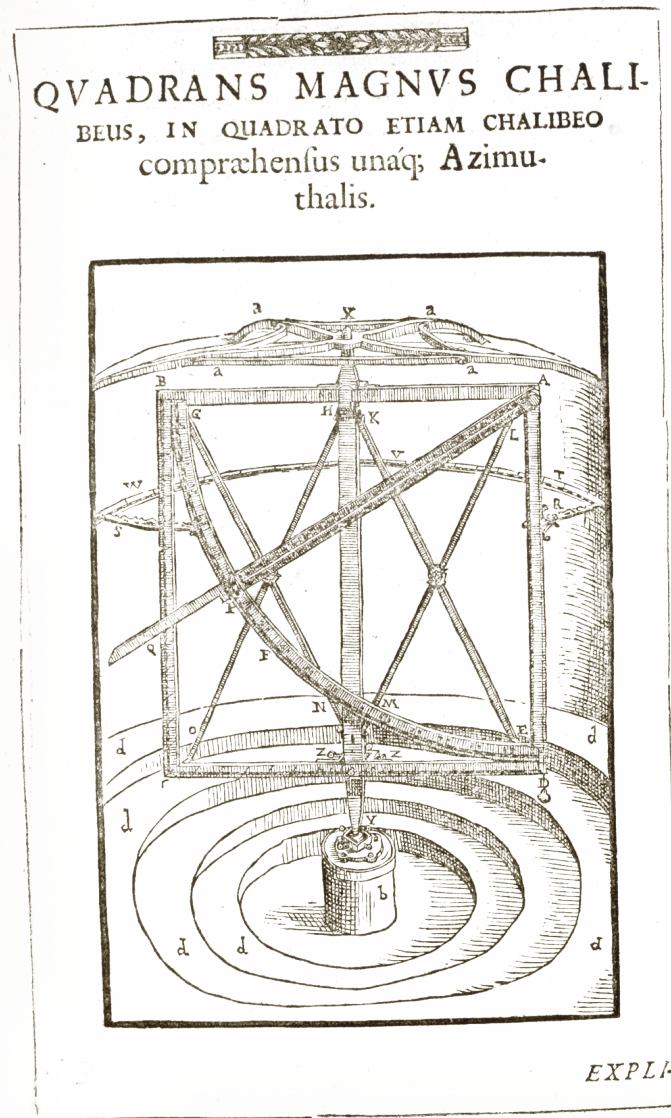
John Dreyer[4] aponta que a obra completa de Tycho inclui observações de planetas, de uma estrela *nova*<sup>2</sup> na constelação de Cassiopeia (Fig. 3) no ano de 1572 e de 9 cometas, além de um novo catálogo estelar.



**Fig. 3.** Diagrama da constelação de Cassiopeia do catálogo de Tycho, exibindo a posição da supernova observada em 1572 (SN1572; B Cassiopeiae). Créditos: Library of Congress.

<sup>2</sup>A estrela também conhecida como a Supernova de Tycho era na verdade uma supernova do tipo Ia, hoje catalogada como SN1572 ou B Cassiopeiae.

Apesar de suas observações antecederem o uso de telescópios na Astronomia, Tycho era capaz de medir posições com grande precisão usando instrumentos como quadrantes, sextantes e esferas armilares. A fabricação e o uso desses instrumentos estão descritos em seu livro *Astronomiæ instauratæ mechanica*[5]. A Fig. 4 mostra o Grande Quadrante, um dos muitos instrumentos usados por Tycho em suas observações.



**Fig. 4.** Grande Quadrante de Tycho Brahe. Um de seus muitos instrumentos para medidas de posição descritos no livro *Astronomiæ instauratæ mechanica*. Créditos: Library of Congress.

As observações de Tycho desferiram fortes golpes na filosofia aristotélica que tomava o céu supralunar como perfeito e imutável. Primeiro pelo registro do surgimento de uma estrela (a supernova em Cassiopeia, em 1572) e depois, determinando de maneira decisiva

que os cometas eram objetos celestes e não fenômenos atmosféricos.

O catálogo estelar elaborado por Tycho foi publicado postumamente em 1602, em uma edição preparada por Johannes Kepler. Uma página deste trabalho pode ser vista na Fig. 5, iniciando por Áries, a primeira constelação do zodíaco. O título da página pode ser traduzido como: “*Determinação canônica das Estrelas Fixas, das mais numerosas e das mais importantes, segundo as próprias e precisas observações do céu recentemente deduzidas pelo autor, para o ano completo de 1600*”. O catálogo lista coordenadas e magnitudes e identifica as estrelas por seus nomes próprios ou descrevendo suas posições na figura representada pela constelação, ainda sem uma forma sistemática de designação.

TYCHONIS BRAHE LIB. I.  
**STELLARVM INERRANTIUM**  
 PLVRIMARVM ET PRÆCIPVARVM,  
 IYXTA  
 AVCTORIS PROPRIAS ET ACCVRATAS  
 COELITVS RECENS DEDVCTAS  
 OBSERVATIONES,  
 CANONICA DETERMINATIO,  
*Ad Annum completum*  
 1600.

**PRIMO, DE STELLIS QVÆ APVD  
 ZODIACVM CONSPICIVNTVR.**

ARIES.

DENOMINATIO STELLARVM.	LONGITVDO.			LATITVDO.			MAG.
	S.	G.	M.	G.	M.		
Australis in præcedente cornu	✓	27	37	7	8½	B	4:
Borealis ac sequens in eodem cornu	✓	28	23	8	29	B	4:
Lucida in vertice capitis : Principalis	♄	2	6	9	57	B	3½
In rictu duarum borea	♄	2	34	7	23	B	6:
Quæ magis ad Austrum	♄	3	20	5	42½	B	6:
Quæ in ceruice	✓	27	57	5	24	B	5:
In renibus	♄	8	36	6	7	B	6:
Quæ in eductiõne caudæ	♄	12	57	4	8½	B	5
Præcedens trium in cauda	♄	15	15	1	46½	B	4
Media	♄	16	24	2	50	B	5
Vltima	♄	17	50½	2	36	B	6
In femore	♄	11	22	1	12	B	6
In poplite	♄	9	35	1	7	B	6
In genu sinistro	♄	9	23	1	30	A	6
In genu dextro	♄	7	52	0	39	A	6
Paruula in aluo	♄	8	46	4	1	B	6

Quæ

**Fig. 5.** Primeira página do catálogo estelar de Tycho Brahe, incluído na obra *Astronomiæ instauratæ progymnasmata* (1602). Créditos: [Library of Congress](#).

## 1.2 Uranometria - O Atlas Celeste de Johann Bayer

Os catálogos até então existentes incluíam apenas as constelações visíveis a partir do hemisfério norte - consequência de uma Terra esférica. Mas a expansão das navegações europeias levou também a uma expansão na cobertura dos catálogos e mapas celestes, incorporando listas de estrelas visíveis do hemisfério sul, trazidas por navegadores retornando de viagens exploratórias.

Em 1603, em seu atlas celeste Uranometria[6], Johann Bayer (1572-1625), um advogado e astrônomo amador alemão, publica cartas que cobrem ambos os hemisférios celestes, com novas constelações preenchendo o céu austral.

Bayer rotula as estrelas com letras gregas minúsculas, em ordem alfabética seguindo aproximadamente a ordem de brilho das estrelas. Após as 24 letras gregas, Bayer prossegue com o alfabeto latino, iniciando com a letra “A” maiúscula, seguida das demais letras minúsculas, de “b” a “z”, omitindo o “j” e o “v”. As demais letras latinas maiúsculas foram usadas para rotular objetos não estelares, estrelas não pertencentes à constelação representada na carta ou estrelas temporárias, como a Supernova de Tycho, em Cassiopeia, rotulada com a letra “B”.



**Fig. 6.** Detalhe da arte da constelação de Órion no atlas Uranometria, de Johann Bayer (1603).  
Créditos: [ETH-Bibliothek Zürich](#).

O catálogo de Bayer, assim como os de seus antecessores, usa uma escala de valores inteiros para as magnitudes, não discriminando diferenças menores de brilho dentro de cada

grandeza. Dessa falta de refinamento, resulta que a ordem alfabética atribuída por Bayer não coincida exatamente com a ordem decrescente de brilho das estrelas.<sup>3</sup>

Na Fig. 7, vemos a tabela associada à prancha da constelação Órion. Bayer contabiliza 2 estrelas de primeira magnitude, 4 de segunda, 4 de terceira, 16 de quarta, 11 de quinta e 12 de sexta, sem um ordenamento mais refinado quanto à fotometria (Fig. 7).

A primeira coluna da tabela é numérica e Ian Ridpath[7] sugere que sejam referências a uma lista preliminar compilada por Bayer, mas que não foi integralmente utilizada no Uranometria, uma vez que há descontinuidades nesses índices.

TABVLA TRIGESIMA QVINTA.  
ORION.

♁ ΠΙΩΝ, ♁ ΑΡΙΩΝ, Arion, Hyriades, Audax,  
Furius, Sublimatus, Gigas, Bellator fortissimus Latinis Iugula, Arab. Elgeuze, Sugia,  
Aflugia, Elgebar, Algebar, Algebra, Kefil, Geuze.

DIARTHROSIS.

2	α	In humero sinistro lucida rubescens, Betelgeuze. Aratus γλωσσα vocat. αβ.	} Primi.
35	β	In extremo pede dextro, Rigel, Elgebar, Kefil; κωνός τῆς ἀριστερῆς καὶ τῆς πόσῳ μὲν αβδγ. η.	
3	γ	In humero laevo duarum Borealior. Bellatrix.	} Secundi.
26	δ	In baltheo fulgentium trium præcedens.	
27	ε	Media.	
28	ζ	Sequens. Hastres vulgus S. Iacobi baculum indigerat.	
29	η	Sub baltheo trium inferior.	} Tertii.
31	θ	In ense tertia.	
32	ι	Quarta.	
38	κ	Ad genu sinistrum.	
1	λ	In capite trium superior. αβγ.	} Quarti.
5	μ	Ἐν τῷ ἀκρογωνίῳ λαυο.	
8	ν	In manu Borealior.	
7	ξ	Australior.	
18	ο	Septentrionales duæ, δν τῆς ἀριστερῆς.	
25	π	Sex alix descendentes in Austrum.	
39	ρ	Sub axillâ dextrâ, δν τῆς ἀριστερῆς.	
40	σ	In ense, prima.	
36	τ	In dextrâ surâ trium præcedens.	} Fulgoris.
33	υ	Sequens.	
42	φ	In capite trium media & Australior. αβγ.	} Quinti.
12	χ	Dux in clauâ.	
13	ψ	In dorso præcedens secunda.	
16	ω	Quinta vel vltima.	
4	A	In humero dextro duarum Australior.	
43	b	In ensis capulo.	
30	c	In ense, secunda.	
34	d	In femine lauo.	
37	e	Trium dextræ suræ, media.	

L1                      Ad

Fig. 7. Tabela da constelação de Órion, no Uranometria de Bayer. Créditos: [ETH-Bibliothek Zürich](http://www.ethz.ch).

A segunda coluna traz os rótulos alfabéticos de α até ω, seguidos dos caracteres latinos A, b, c, d, e.

<sup>3</sup>Nas tabelas que acompanham as pranchas do atlas (Fig. 7), Bayer emprega os termos *Fulgoris*, *Quátitatis*, *Magnitudinis* e *Luminis* para se referir às magnitudes.

A próxima coluna é uma descrição da posição das estrelas na constelação e traz alguns nomes estelares próprios (*Betelgeuze*, *Rigel* e *Bellatrix*). Colchetes à direita da página agrupam as estrelas por magnitude. Seguindo a tradição de Hiparco, as estrelas mais brilhantes são as de primeira magnitude e as estrelas no limite da visibilidade a olho nu são as de sexta magnitude.

Das estrelas de primeira magnitude, “*Betelgeuze, a estrela de brilho vermelho no ombro esquerdo*”<sup>4</sup> do caçador foi rotulada como  $\alpha$ . A estrela “*no extremo do pé direito, Rigel*”<sup>5</sup>, foi rotulada como  $\beta$ . A  $\alpha$ , no entanto, é menos brilhante que a  $\beta$ . No total, 16 constelações<sup>6</sup> tiveram estrelas que não são as mais brilhantes rotuladas como  $\alpha$ . Nos mais de quatro séculos que se passaram desde a primeira impressão do Uranometria, novas constelações foram definidas e outras foram desmembradas. Mas a designação alfabética de Bayer segue em uso e estabeleceu-se como a maneira mais comum de se referir às estrelas mais brilhantes de uma constelação.

Na forma completa da designação, acrescentamos à letra grega ou latina que rotula a estrela, o genitivo em latim da constelação. Assim, a estrela rotulada como  $\alpha$  na constelação do Centauro é a  $\alpha$  *Centauri*. A estrela rotulada como  $\beta$  na constelação de Órion é a  $\beta$  *Orionis*. A estrela rotulada como  $\delta$  na constelação do Cruzeiro do Sul (Crux) é a  $\delta$  *Crucis*.

---

<sup>4</sup>Em latim: “*In humero sinistro, ludida rubescens, Betelgeuze.*”

<sup>5</sup>“*In extremo pede dextro, Rigel*”.

<sup>6</sup>Câncer, Capricórnio, Baleia (*Cetus*), Corvo, Taça (*Crater*), Golfinho, Dragão, Gêmeos, Hércules, Libra, Órion, Pégaso, Peixes, Seta (*Sagitta*), Sagitário, e Triângulo.[7]

### 1.3 Flamsteed - O Primeiro Catálogo Telescópico

Os catálogos não são apenas uma lista de estrelas. São uma ferramenta para a observação astronômica, trazendo dados importantes de posição (Astrometria<sup>7</sup>) e brilho (Fotometria<sup>8</sup>). Esses dados são necessários, por exemplo, para calcular as coordenadas ou estimar o brilho de um cometa. Mas, embora Galileu tivesse introduzido o telescópio como instrumento de observação astronômica em 1609, os catálogos e atlas celestes publicados ao longo do Séc. XVII baseavam-se em observações a olho nu, limitando a precisão na determinação de posição e nas estimativas fotométricas.

Foi John Flamsteed (1646–1719), o primeiro Astrônomo Real da Inglaterra, que inaugurou a era dos catálogos telescópicos, utilizando o recém-criado Observatório de Greenwich para compilar seu *Stellarum Inerrantium Catalogus Britannicus*<sup>9</sup>, publicado postumamente, em 1725, no *Historiæ Coelestis Britannicæ*.

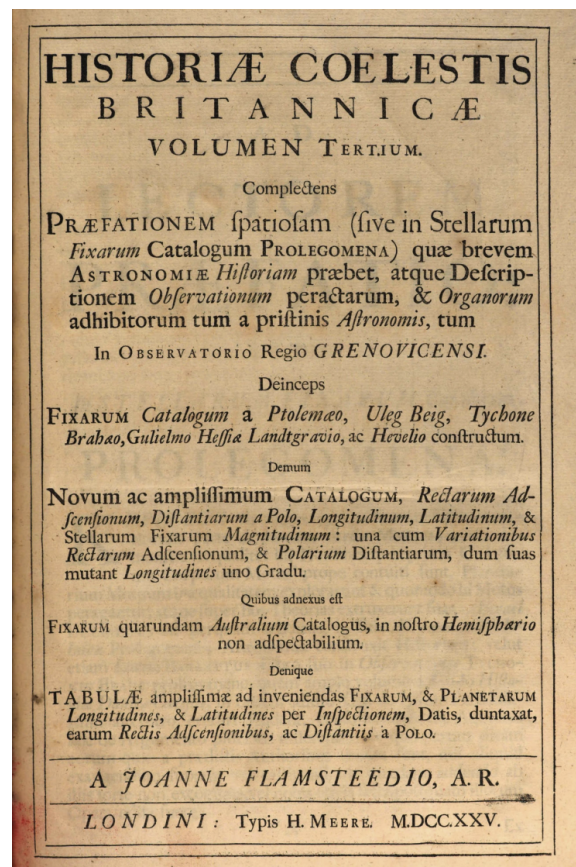


Fig. 8. *Historiæ Coelestis Britannicæ*, de John Flamsteed.

Em seu terceiro volume, o *Historiæ Coelestis Britannicæ* [8] faz um retrospecto dos

<sup>7</sup>A astrometria é o ramo da Astronomia que se ocupa das medidas de posição dos astros.

<sup>8</sup>A fotometria é o ramo da Astronomia que se ocupa de determinar o fluxo luminoso dos astros.

<sup>9</sup>*Catálogo Britânico das Estrelas Fixas*.

catálogos estelares, republicando os catálogos de Ptolomeu, Ulugh Beg (1394-1449), Tycho e Hevelius (1611-1687). E apresenta o novo *Catalogus Britannicus*.

As estrelas do *Catalogus Britannicus* estão listadas em ordem crescente da coordenada Ascensão Reta (ou seja, de leste para oeste), diferente do *Uranometria* de Bayer, que agrupava suas estrelas conforme o brilho aparente.

A edição revisada do catálogo de Flamsteed publicada na França em 1783 por Joseph Jérôme de Lalande (1732–1807) no *Éphémérides des movemens celestes* [9], contendo 2962 estrelas, acrescenta uma coluna inicial às tabelas, atribuindo um índice numérico a cada entrada do catálogo. Estes índices, ausentes na edição original, tornaram-se o que hoje conhecemos como *designação de Flamsteed*.

A exemplo da designação de Bayer, acrescenta-se aos índices numéricos de Flamsteed o genitivo em latim da respectiva constelação.<sup>10</sup>

EM CONSTRUÇÃO - DESCULPE-NOS O TRANSTORNO.

---

<sup>10</sup>A estrela Antares, a mais brilhante na constelação do Escorpião (*Scorpius*) é a vigésima primeira listada por Flamsteed na constelação. Assim, na designação de Flamsteed, ela é a 21 Scorpii (21 Sco) e pela designação de Bayer,  $\alpha$  Scorpii ( $\alpha$  Sco).

## 1.4 Messier - Cometas e Céu Profundo

O Séc. XVII viu nascer a ciência moderna. As observações telescópicas de Galileu mostraram que Júpiter possuía seus próprios satélites e que a Lua não era uma esfera perfeita, mas sim um corpo coberto de crateras. Dois fatos que, junto com a constatação por Tycho Brahe de que os cometas não eram fenômenos meteorológicos, mas sim corpos que se moviam a distâncias maiores que a da Lua e de que uma estrela havia surgido na constelação de Cassiopeia em 1572, faziam ruir a ideia de que a Terra era o centro do Universo e de que o céu supralunar era imutável.

Johannes Kepler, discípulo de Tycho, desvendou o movimento dos planetas e elaborou suas três leis do movimento planetário.

Isaac Newton (1643-1727) publica suas três leis da mecânica e a teoria da Gravitação Universal e paralelamente a Leibniz (1646-1716) cria ferramentas matemáticas que permitem calcular com precisão órbitas de objetos a partir dos dados observacionais.

Empregando essas novas ferramentas e a Física de Newton, o astrônomo e matemático Edmond Halley (1656-1742), sucessor de John Flamsteed como Astrônomo Real Britânico, estava convicto de que os cometas observados em 1531 por Peter Apian (1495-1552), em 1607 por Kepler e Christen Longomontanus (1562-1647) e em 1682 pelo próprio Halley, eram o mesmo cometa e que este retornaria em 1758<sup>11</sup>.

Nas páginas 21 e 22 de *A Synopsis of the Astronomy of Comets*[10], Halley escreveu:

*“O principal uso desta Tabela de Elementos do Movimento [dos cometas] e o que me motivou a construí-las, é, que sempre que um novo cometa apareça, sejamos capazes de saber, comparando seus elementos, se ele é um dos que já apareceram previamente, e conseqüentemente determinar seu período, o eixo de sua órbita e prever o seu retorno. E, de fato, há muitas coisas que me fazem crer que o cometa observado por Apian no ano de 1531 era o mesmo que Kepler e Longomontanus detectaram e descreveram em 1607 e que eu mesmo vi retornar e observei em 1682. [...]*

*Isso também confirma, em minha opinião, que este seja o mesmo que no ano de 1456, no verão, um cometa foi observado passando retrógrado entre a Terra e o Sol, da mesma maneira. Embora ninguém tenha feito observações, pelo seu período e pela maneira do seu trânsito, não posso pensar que seja diferente dos que acabei de mencionar. Portanto, ousou prever que ele retornará novamente no ano de 1758.<sup>12</sup>”*

<sup>11</sup>O cometa é hoje designado 1P/Halley e foi o primeiro cometa periódico confirmado.

<sup>12</sup>*The principal use therefore of this Table of the Elements of their Motions, and that which induced me to construct it, is, That whenever a new Comet shall appear, we may be able to know, by comparing together the Elements, whether it be any of those which has appear'd before, and consequently to determine its Period, and the Axis of its Orbit, and to foretell its Return. And, indeed, there are many Things which make me believe that the Comet which Apian observ'd in the Year 1 531. was the same with that which Kepler and Longomontanus took Notice of and describ'd in the Year 1607. and which I my self have seen return, and observ'd in the Year 1682.*

*[...]This, moreover, confirms me in my Opinion of its being the same, that in the Year 1456. in the Summer*



**Fig. 9.** Carta celeste com as trajetórias do cometa observado em 1531, 1607 e 1682 e com retorno previsto por Halley para o ano de 1758. Créditos: [Bibliothèque nationale de France](#).

Entre os astrônomos que buscavam o cometa previsto por Halley estava Charles Messier (1730-1817), o jovem assistente de Joseph-Nicholas Delisle<sup>13</sup> (1688–1768), no Observatório Naval em Paris. Seguindo as orientações de Delisle, que havia recalculado a data da passagem pelo periélio<sup>14</sup> do cometa para abril de 1759, Messier inicia sua campanha no verão europeu de 1758.

Na noite de 21 de janeiro de 1759, Messier redescobre o cometa de Halley, mas Delisle acreditava se tratar de um objeto diferente, já que estava fora de sua trajetória recalculada. Sem a aprovação de Delisle, Messier não publicou sua descoberta e prosseguiu com a busca por três meses até que ficasse claro que Delisle havia cometido um erro em seus cálculos. Além disso, tomou conhecimento de que aproximadamente um mês antes, na noite de Natal de 1758, Johann Georg Palitzsch (1723-1788), um astrônomo amador na região de Dresden, havia observado o cometa de Halley[11].

Após a frustração com o Halley, a caça de cometas tornou-se uma obsessão para Messier. Seu trabalho, no entanto, era puramente observacional, sem incluir a determinação de órbitas, trabalho que era repassado a colaboradores como Bochart de Saron (1730-1794), magistrado e astrônomo amador francês que tinha como *hobby* a mecânica celeste e determinou que Urano, observado por William Herschel em abril de 1781, era um novo planeta e não um cometa[12].

Messier dedicou seu tempo a cuidadosas campanhas observacionais enquanto sua visão permitiu. Em seu manuscrito *Notas sobre meus cometas*[13], sobre o grande cometa de

*time, a Comet was seen passing Retrograde between the Earth and the Sun, much after the same manner : Which, tho' no Body made Observations upon it, yet from its Period, and the Manner of its Transit, I cannot think different from those I have just now mention'd. Hence I dare venture to foretell, That it will return again in the Year 1758.*

<sup>13</sup>Também grafado *de l'Isle*.

<sup>14</sup>O periélio é o ponto mais próximo do Sol na órbita de um objeto do Sistema Solar. Ao se aproximar do periélio parte do gelo que compõe os cometas sublima, dando origem a uma cauda e à cabeleira, o envoltório gasoso do núcleo.

1807, escreveu: “*Nestas observações, utilizei pela primeira vez uma pessoa que cronometrava e marcava as divisões do instrumento que meus olhos não podiam mais perceber.*”<sup>15</sup>. - Sua dedicação o levou a se tornar o maior caçador de cometas de seu tempo, observando sistematicamente 44 cometas, tendo descoberto 21 deles. Não foi, no entanto, sua prolífica descoberta destes astros o seu maior legado.

Antes do episódio com o Halley, ao observar o cometa descoberto por de la Nux em 1758<sup>16</sup>, na constelação de Touro, Messier se deparou com uma nebulosa desconhecida, cuja aparência poderia levá-la a ser confundida com um cometa. Este episódio o motivou a elaborar um catálogo de objetos de aspecto nebuloso (Fig. 10) que poderiam atrapalhar a atividade de caça e observação de cometas.

TABLE des Inclinaisons de l'horizon visuel avec l'horizon vrai.				CATALOGUE								
Elev. au-dessus de la Mer.				DES								
INCLINAISON de l'Horizon.				NÉBULEUSES ET DES AMAS D'ÉTOILES								
Observées à Paris, par M. Messier, à l'Observatoire de la Marine, hôtel de Clugni, rue des Mathurins.				M. MESSIER a observé avec le plus grand soin les								
pi.	ps.	M.	S.	Diff.	pi.	M.	S.	Diff.				
0.	0.	44	17	28	5.	26	12	94	9.	58	12	
1.	0.	1.	14	30	5.	37	12	98	10.	10	12	
1.	6.	1.	15	12	32	5.	48	10	102	10.	21	12
2.	0.	1.	27	13	34	5.	58	13	106	10.	33	12
2.	6.	1.	38	9	36	6.	9	10	110	10.	45	12
3.	0.	1.	47	16	38	6.	19	10	114	10.	57	12
4.	0.	2.	3	15	40	6.	29	10	118	11.	8	12
5.	0.	2.	18	13	42	6.	39	10	122	11.	20	12
6.	0.	2.	31	12	44	6.	48	9	126	11.	31	12
7.	0.	2.	43	11	46	6.	57	9	130	11.	43	12
8.	0.	2.	54	10	48	7.	6	9	134	11.	54	10
9.	0.	3.	4	10	50	7.	15	9	138	12.	4	10
10.	0.	3.	14	10	52	7.	24	9	142	12.	14	10
11.	0.	3.	24	9	54	7.	33	9	146	12.	24	10
12.	0.	3.	33	9	56	7.	42	8	150	12.	34	10
13.	0.	3.	42	8	58	7.	50	7	154	12.	44	9
14.	0.	3.	50	8	60	7.	57	8	158	12.	53	10
15.	0.	3.	58	8	62	8.	5	7	162	13.	3	9
16.	0.	4.	6	8	64	8.	12	8	166	13.	12	9
17.	0.	4.	14	7	66	8.	20	8	170	13.	22	9
18.	0.	4.	21	7	68	8.	27	8	174	13.	31	10
19.	0.	4.	28	7	70	8.	33	7	178	13.	41	9
20.	0.	4.	35	7	72	8.	42	7	182	13.	50	9
21.	0.	4.	42	7	74	8.	49	7	186	13.	59	9
22.	0.	4.	49	7	76	8.	56	11	190	14.	8	11
23.	0.	4.	56	6	79	9.	7	10	193	14.	19	11
24.	0.	5.	2	6	82	9.	17	10	200	14.	30	11
25.	0.	5.	8	6	85	9.	27	10	205	14.	41	11
26.	0.	5.	14	6	88	9.	38	10	210	14.	53	11
27.	0.	5.	20	6	91	9.	48	10	215	15.	3	11
28.	0.	5.	26	6	94	9.	58	10	220	15.	14	11

**Fig. 10.** Última versão publicada por Messier do Catálogo de Nebulosas e Aglomerados Estelares, no almanaque *Connaissance des Temps, ou Connoissance des Mouvements Célestes Pour l'Année bissextile 1784*. Créditos: [Bibliothèque nationale de France](http://bibliothèque.nationale.de/france).

<sup>15</sup>“*At these observations, I have made use of help for the first time during all my observations by a person who counted at the clock and marked the divisions of the Instrument which my eyes could no more perceive.*” Traduzido para o inglês por Hartmut Frommert e disponível em <http://messier.lamost.org/seds/seds.org/messier/en/xtra/history/notes-c.html>

<sup>16</sup>Cometa C/1758 K1 (De la Nux), na nomenclatura moderna.

Três versões de seu catálogo foram elaboradas. A primeira, com 45 objetos, foi concluída em 1771. A segunda versão, com 68 objetos, foi publicada em 1780.

Com a colaboração de Pierre Méchain (1744-1804), a versão final de seu catálogo, com 103 objetos, *Catalogue des Nébuleuses et des Amas d'Etoiles*[14] foi publicada no anuário *Connaissance des Temps, ou Connoissance des Mouvemens Célestes Pour l'Année bissextile 1784*, em 1781 .

Embora Pierre Méchain tenha permanecido ativo e realizado novas descobertas após a publicação da terceira versão do catálogo, nenhuma outra versão foi publicada por Messier. Ainda assim, a versão atual do catálogo contabiliza 110 objetos, incorporando atualizações do Séc. XX que consideram objetos observados e descritos por Messier e Méchain, mas que não foram listados originalmente.

O catálogo de Messier chega aos nossos dias como uma coletânea de tesouros celestes do céu profundo, incluindo nebulosas, galáxias (na época também chamadas de nebulosas) e aglomerados estelares, observáveis por instrumentos modestos e que fazem parte do repertório da grande maioria dos astrônomos amadores. A compilação de objetos, considerados como indesejáveis em sua busca por cometas, consolidou-se como a maior herança de Messier, transpondo os limites acadêmicos e tornando-se o mais popular catálogo de objetos astronômicos já publicado.

No Séc. XX um complemento ao catálogo Messier listando 109 objetos é elaborado pelo astrônomo amador e divulgador Patrick Moore<sup>17</sup>. O catálogo Caldwell incorpora objetos brilhantes que foram deixados de fora da lista de Messier além de trazer objetos do hemisfério sul celeste, não visíveis por Messier e Méchain a partir da França.

---

<sup>17</sup>Sir Patrick Alfred Caldwell-Moore (1923-2012).

## 1.5 NGC - O Legado da Família Herschel

No Séc. XVIII, um casal de irmãos músicos, nascidos em Hanover, então parte do Sacro Império Romano-Germânico, largou as partituras para iniciar a construção de um legado que inclui a descoberta de um novo planeta, a revisão do catálogo estelar de Flamsteed e a elaboração de um catálogo com milhares de objetos de céu profundo. [15]

Obsessão talvez seja a palavra mais adequada para descrever a intensidade do interesse de William Herschel (1738-1822)<sup>18</sup> pela Astronomia. Ainda como astrônomo amador, tornou-se um dos mais competentes construtores de telescópios de sua época e seus instrumentos superavam a capacidade de telescópios instalados em instituições profissionais como o Observatório de Greenwich. Foi com um destes telescópios que ele descobriu o planeta Urano em 13 de março de 1781<sup>19</sup>.

William havia deixado Hanover e se estabelecido na cidade de Bath, na Inglaterra, onde garantia sua sobrevivência com sua remuneração como músico, enquanto lutava para garantir tempo para a observação do céu e para a construção de telescópios. Mas a descoberta de um novo planeta<sup>20</sup>, o primeiro em milênios, chamou a atenção do Rei George III (1738-1820) e abriu as portas para sua carreira como astrônomo profissional. Contratado como uma espécie de astrônomo pessoal do Rei, William finalmente teve como se dedicar integralmente à Astronomia, ainda que por um salário inferior aos seus rendimentos como músico, tendo apenas a tarefa de ocasionalmente levar telescópios portáteis ao castelo de Windsor e de receber visitantes do Rei em seu observatório.

A nova carreira de William como astrônomo profissional mudou também a vida de sua irmã, Caroline Herschel (1750-1848), que deixou Hanover em 1772 para seguir carreira musical, acompanhando William e apresentando-se como solista [16].

Caroline atuou inicialmente como assistente nas observações de seu irmão, mas construiu uma carreira sólida com suas próprias descobertas, incluindo oito cometas e diversas nebulosas, além de revisar os registros de observação de John Flamsteed, identificando 559 estrelas que não foram incluídas entre as 2969 do *Catalogus Britannicus*. A Fig.11 é a página frontal do *Catálogo de Estrelas* de Caroline (*Catalogue of Stars, taken from Mr.*

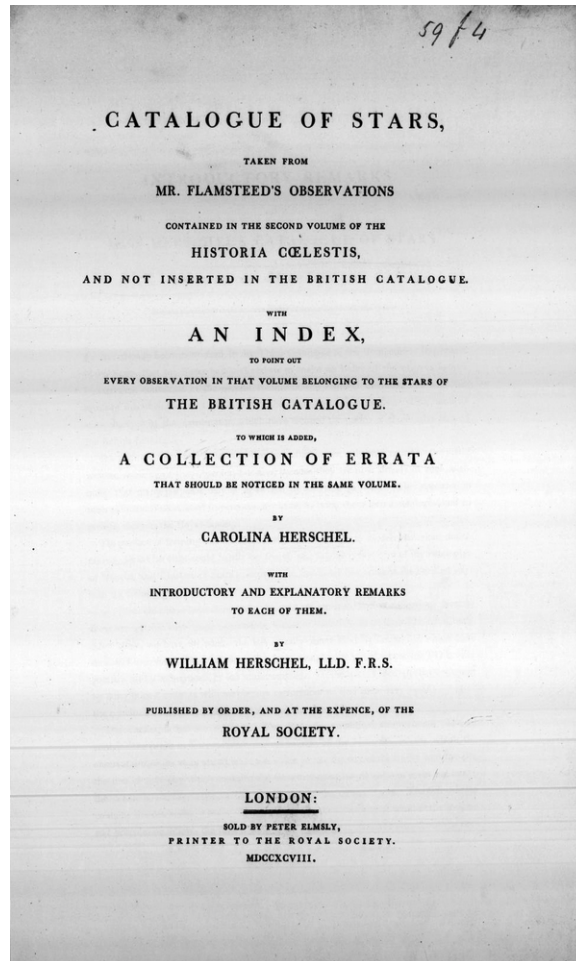
---

<sup>18</sup>William Herschel foi um músico talentoso e prolífico, tendo composto 24 sinfonias, 12 concertos, 9 sonatas para cravo, 12 sonatas para violino e várias peças de música para órgão. Suas partituras estão disponíveis gratuitamente em formato PDF em <https://herschelpress.co.uk/>. William foi o quarto de dez filhos de Isaac Herschel (1707-1767), e assim como o pai e seu irmão mais velho Jacob (1734-1792), serviu como músico na banda da Guarda Hanoveriana, subordinada ao Rei George II (1683–1760) da Grã-Bretanha. Mas foi a paixão pela Astronomia que guiou sua vida.

<sup>19</sup>William reportou sua descoberta inicialmente como sendo um cometa. Foi Bochart de Saron [12] que, ao calcular a órbita do corpo, anunciou, em 8 de maio de 1781, que o objeto se encontrava mais distante do que se supunha, levando à conclusão de que na verdade se tratava de um planeta até então desconhecido, além da órbita de Saturno. Encorajado por colegas, William propôs nomear o planeta como *Georgium Sidus* (Estrela de George), em homenagem ao monarca George III. Felizmente, a proposta nunca foi amplamente adotada e prevaleceu o nome Urano, sugerido pelo astrônomo alemão Johann Elert Bode (1747–1826), à época, diretor do Observatório de Berlim.

<sup>20</sup>Os cinco outros planetas conhecidos na época (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) são visíveis a olho nu e eram conhecidos desde a pré-história.

*Flamsteed's Observations contained in the second volume of Historia Cœlestis and not inserted into the British Catalogue*), publicado pela Royal Society em 1798 [17]. Caroline ainda deixou seu nome marcado na história como a primeira mulher astrônoma profissional.



**Fig. 11.** O Catálogo de Estrelas, com os dados de observação de John Flamsteed, revisados por Caroline Herschel.

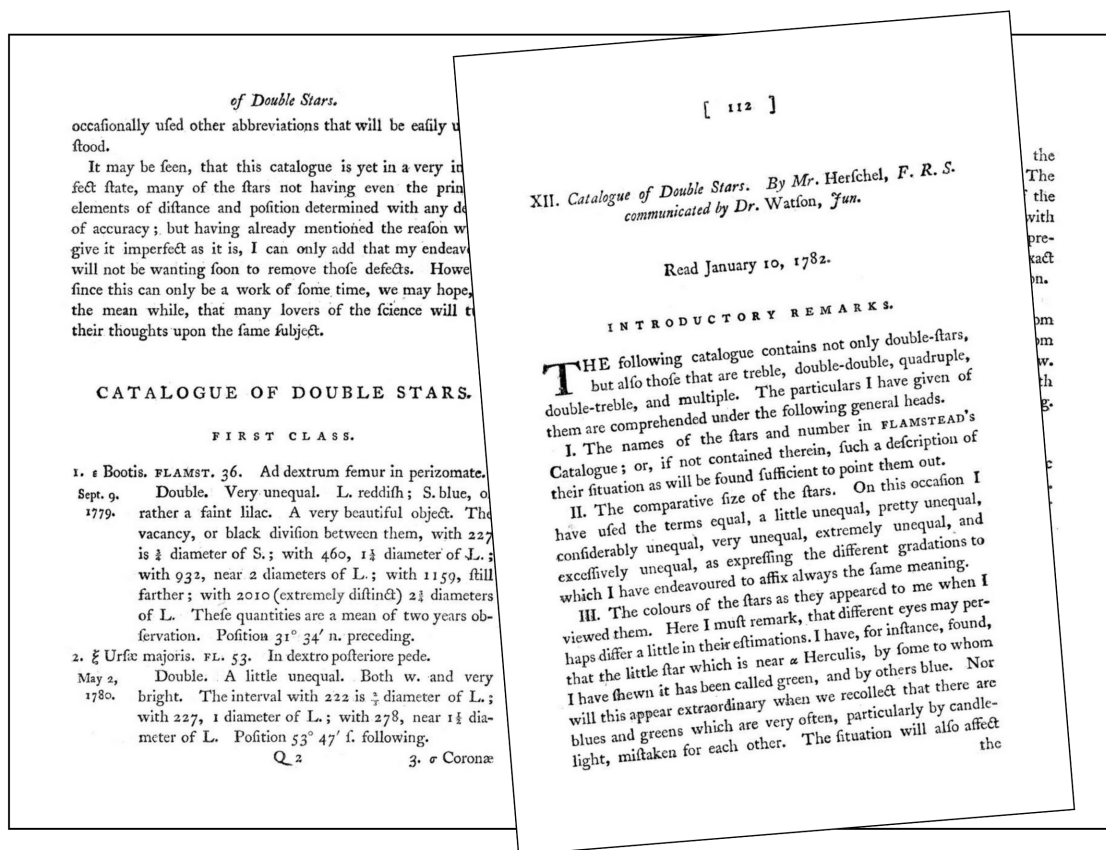
Os diversos catálogos produzidos pelos Herschel são o fruto de repetidas varreduras<sup>21</sup> sistemáticas do céu, refazendo medidas de coordenadas já publicadas em outros catálogos, buscando e catalogando estrelas duplas e, por último, também buscando e catalogando nebulosas<sup>22</sup> e aglomerados estelares.

<sup>21</sup> William chamava as varreduras de “*Sweeps*”.

<sup>22</sup> Até o início do Séc. XX o termo “nebulosa” era utilizado para identificar objetos de natureza bem distinta: galáxias, nebulosas gasosas, nebulosas planetárias e restos de supernova. As galáxias só passaram a ser entendidas como objetos fora da Via Láctea a partir das medidas de distância executadas por Edwin Hubble (1889-1953) a partir do método desenvolvido por Henrietta Swan Leavitt (1868-1921).

Interessado no problema da determinação da distância até as estrelas<sup>23</sup>, William submeteu o artigo *On the parallax of the fixed stars* (1782), publicado no *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 72, onde propõe a medida da paralaxe a partir da variação na separação entre estrelas duplas quando observadas de pontos opostos da órbita terrestre [18].

William iniciou então uma varredura do céu em busca de estrelas duplas que resultou na publicação de dois catálogos. A Fig. 12 mostra o primeiro deles, publicado no mesmo volume do *Philosophical Transactions*.



**Fig. 12.** O primeiro catálogo de estrelas duplas de William Herschel, de 1782, publicado no *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (1782). Créditos: The Royal Society.

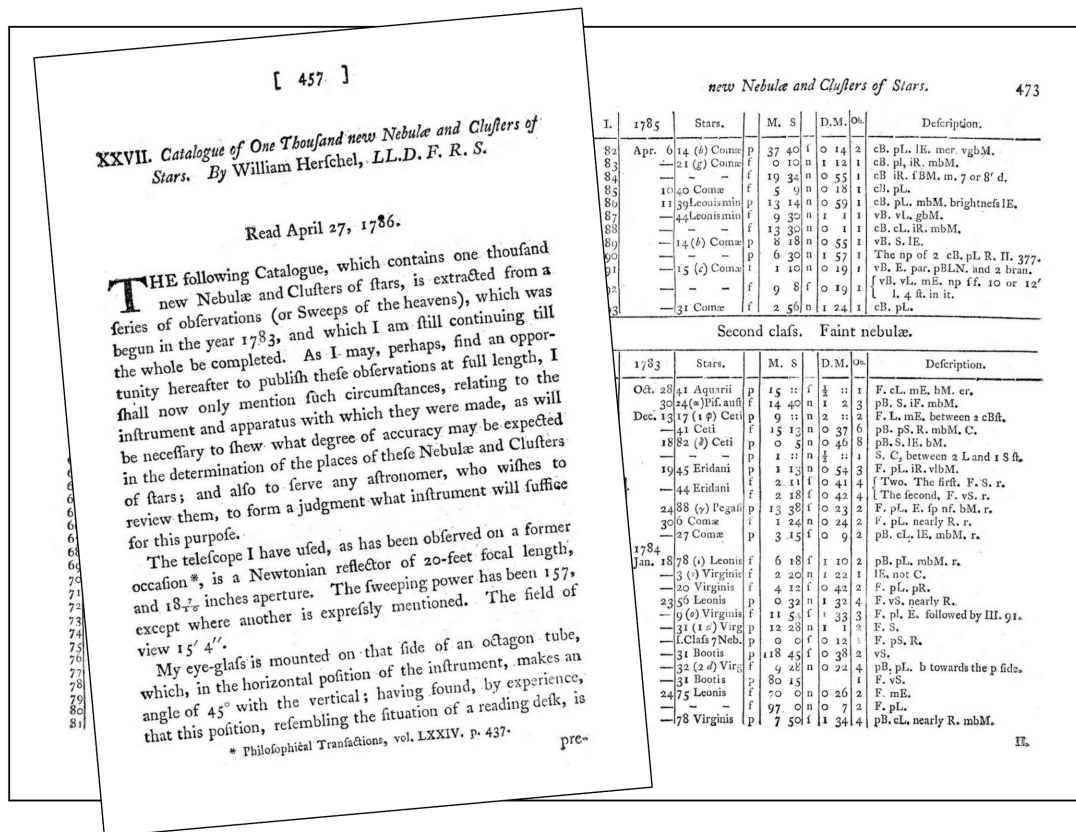
Deixando as estrelas próximas e mergulhando nos objetos distantes do céu profundo, o primeiro catálogo de nebulosas e objetos estelares publicado por William Herschel, em 1786, continha 1000 objetos, o que multiplicava por 10 a escala do famoso catálogo de Charles Messier, que em sua última versão, publicada em 1784, listava 103 objetos.

William chegou a um número final de 2500 objetos nebulosos e aglomerados estelares com outros dois catálogos, acrescentando 1000 objetos em 1789 e 500 objetos em

<sup>23</sup>Apresentamos o método de medida da paralaxe anual para determinar distâncias estelares na seção ??.

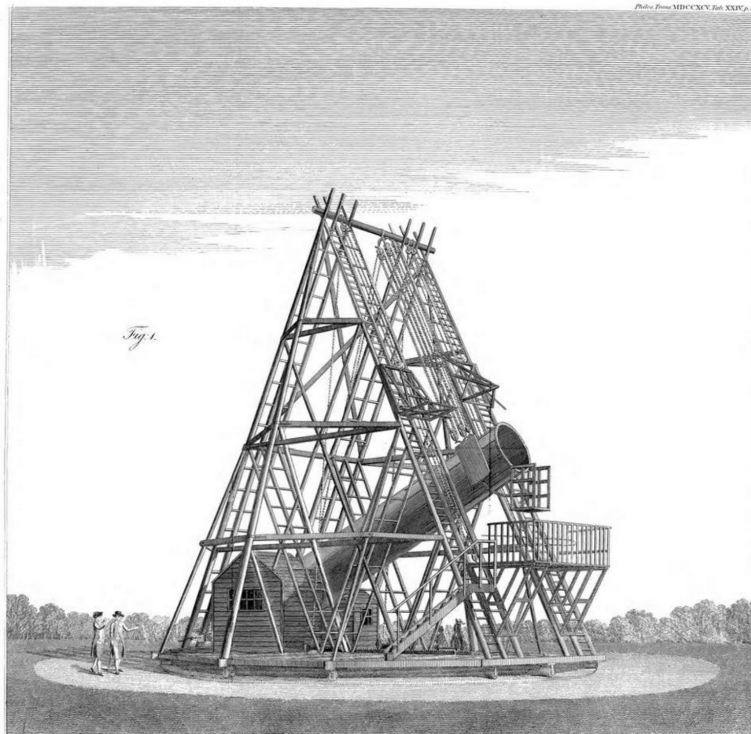
1802[19].

Esses resultados não foram apenas o fruto da dedicação e talento de William e Caroline em suas varreduras observacionais, mas também da inigualável qualidade dos telescópios projetados e construídos pela dupla, com a colaboração de um terceiro irmão: Johann Alexander Herschel (1745-1821). Também um músico profissional, Alexander tinha como hobby a metalurgia e contribuiu com a mecânica dos telescópios que celebrizaram os Herschels.



**Fig. 13.** Apresentação do catálogo de 1000 novas nebulosas e aglomerados estelares de William Herschel. O primeiro catálogo de objetos de céu profundo dos Herschel, publicado no [Philosophical Transactions of the Royal Society](#) of London em 1786. Créditos: Internet Archive.

Essa busca pela superioridade instrumental culminou com a construção do telescópio refletor de 1,2 m de abertura (48") e 12 metros de distância focal (40 pés), que durante muitos anos foi o maior telescópio de sua época. A construção foi patrocinada pelo Rei George III e durou de 1785 a 1789. No artigo em que descreve a construção do instrumento [20], William cita que em 26 de agosto de 1789, data que considera como a de conclusão da construção, o sexto satélite de Saturno foi descoberto utilizando o telescópio.



TO GEORGE THE THIRD KING OF GREAT BRITAIN &c.  
*This View of a Forty-Foot Telescope, constructed under his Royal Patronage,  
is with permission, most humbly inscribed, by his Majesty's very devoted and loyal Subject,  
and most grateful obedient Servant, William Herschel.*

**Fig. 14.** Telescópio de 40 pés (12 m) de distância focal, o maior telescópio de sua época. Imagem publicada no Philosophical Transactions of the Royal Society of London (1795). Créditos: The Royal Society.

Munidos dos melhores telescópios de sua época, os irmãos Herschel, movidos principalmente pela obstinação de William, deixaram uma vasta produção de catálogos e descobertas. Mas sua cobertura do céu era limitada aos objetos visíveis das cidades de Bath e Windsor, na Inglaterra, de onde os Herschels realizaram suas observações. Foi John Frederick William Herschel (1792-1871), filho de William, que deu números finais ao catálogo de objetos nebulosos. Seguindo os passos do pai e da tia, John varreu os céus do hemisfério sul, a partir do Cabo da Boa Esperança, na África do Sul. Acrescentando suas descobertas às revisões dos catálogos anteriores, John cria um grande catálogo que pretende ser um “catálogo geral de todas as nebulosas e aglomerados estelares conhecidos, em ambos os hemisférios, ordenado pela coordenada Ascensão Reta (A.R.) e com coordenadas atualizadas [...] que permita ao observador apontar seu instrumento para qualquer uma delas ou ao encontrar qualquer objeto dessa natureza reconhecer se é uma nova descoberta ou

se trata-se de um objeto previamente observado”<sup>24</sup>. O *Catalogue of nebulae and clusters of stars* (Fig. 15), de John F. W. Herschel, com 5079 objetos, foi publicado em 1864.

The image shows two pages from John F. W. Herschel's 'Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars'. The top page is the main catalogue, titled 'SIR J. F. W. HERSCHEL'S CATALOGUE' and 'OF NEBULAE AND CLUSTERS OF STARS'. It contains a table with columns for 'No. of Catalogue', 'References to Sir J. H.'s Catalogue of Nebulae', 'References to Sir W. H.'s Classes and Nos.', 'Other Authorities', 'Right Ascension for 1850, Jan. 0', 'Annual Precession in Right Ascension for 1850', 'No. of Obs. used', 'North Polar Distance for 1850, Jan. 0', 'Annual Precession in N.P.D. for 1850', and 'Total No. of Times of Obs. by h. and l.'. The bottom page is a 'SUPPLEMENTARY LIST OF NEBULAE AND CLUSTERS', with columns for 'No. of Catalogue', 'References to Sir J. H.'s Catalogue of Nebulae', 'Other Authorities', 'Right Ascension for 1850, Jan. 0', 'Annual Precession in Right Ascension for 1850', 'No. of Obs. used', 'North Polar Distance for 1850, Jan. 0', 'Annual Precession in N.P.D. for 1850', 'Summary Description from a Comparison of all the Observations, Remarks, &c.', and 'Total No. of Times of Obs. by h. and l.'. The supplementary list includes objects 5058 through 5079, with detailed descriptions of their characteristics and observations.

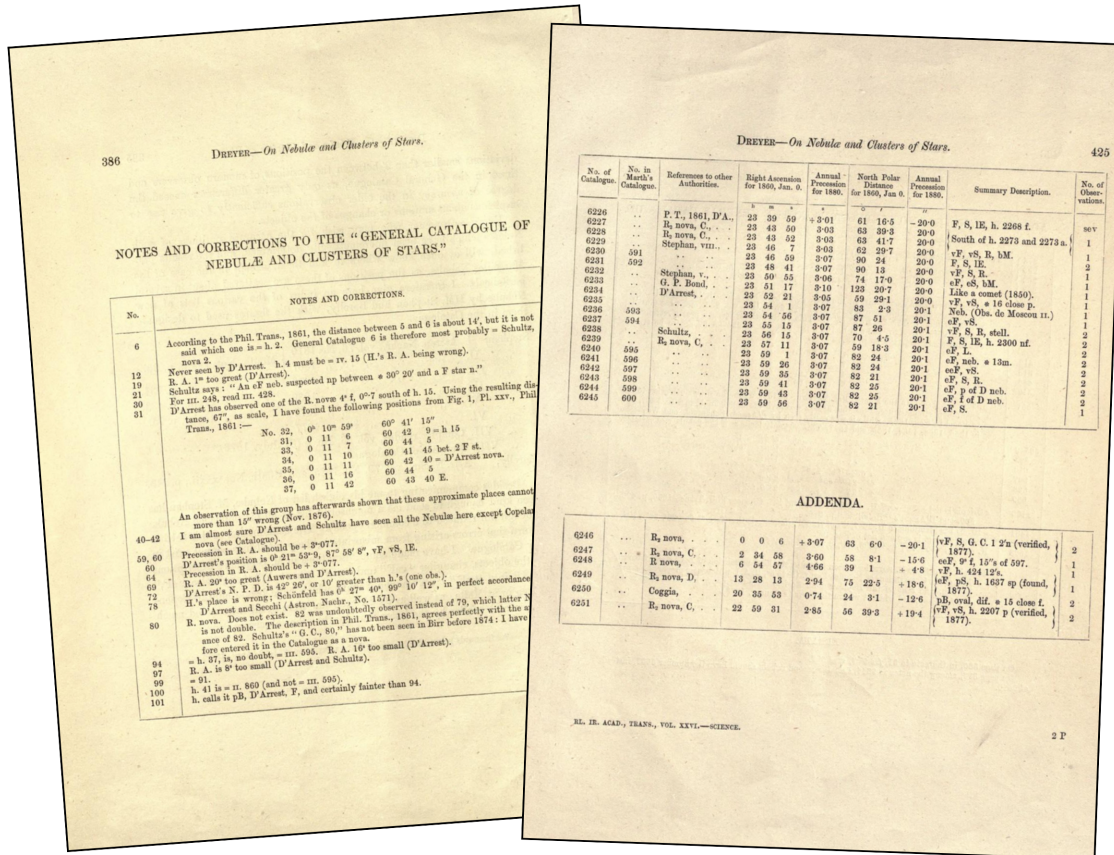
Fig. 15. O *Catálogo Geral de Nebulosas e Aglomerados de Estrelas*, de John F. W. Herschel, com 5079 objetos. Publicado em *Philosophical Transactions of the Royal Society* (1864). Créditos: The Royal Society.

A organização do *Catálogo Geral* era muito conveniente, com objetos listados por ordem crescente da coordenada Ascensão Reta, ou seja, o catálogo listava os objetos em sequência, de leste para oeste. De maneira similar à ordem adotada no catálogo estelar de Flamsteed.

<sup>24</sup>“[...]extremely desirable to have presented in one work, without the necessity of turning over many volumes, a general catalogue of all the nebulae and clusters of stars actually known, both northern and southern, arranged in order of right ascension and reduced to a common and sufficiently advanced epoch which may serve as a general index to them, and enable an observer at once to turn his instrument on any one of them, as well as to put it in his power immediately to ascertain whether any object of this nature which he may encounter in his observations is new, or should be set down as one previously observed.”

No entanto, a adição de novos objetos a esse catálogo, com numeração posterior aos 5079 objetos originais, em um suplemento elaborado por John Louis Emil Dreyer (1852-1926) e publicado em 1878, quebra essa sequência.

Os novos objetos, publicados no *A supplement to Sir John Herschel's "General catalogue of nebulae and clusters of stars."* numerados de 5080 a 6245 formam uma nova sequência de leste para oeste. Além disso, nesta mesma publicação, um adendo com os objetos numerados de 6246 a 6251 também compõe uma sequência à parte.



**Fig. 16.** Suplemento ao Catálogo Geral de John F. W. Herschel, elaborado por J. L. E. Dreyer. O suplemento traz notas e correções e incorpora os objetos de número 5080 a 6251, após os 5079 objetos listados por John Herschel. Créditos: University of California Libraries/Internet Archive.

Em 1888, chegamos finalmente ao *New General Catalogue* (NGC)[21]. Uma nova expansão do *General Catalogue*, elaborada também por J. L. E. Dreyer, chegando a um total de 7840 objetos. Desta vez, Dreyer reinicia a numeração, colocando a totalidade do catálogo novamente em ordem crescente de Ascensão Reta. O NGC é, ainda hoje, um dos mais utilizados catálogos de objetos de céu profundo.

Assim como nos catálogos publicados anteriormente (e mesmo posteriormente), o NGC está organizado em colunas que trazem a numeração do objeto no próprio catálogo, a numeração em catálogos anteriores, as coordenadas celestes e as mudanças nessas coordenadas

Dr. J. L. E. DREYER, *A New General Catalogue* of Nebulae and Clusters of Stars.

No.	G. C.	J. H.	W. H.	Other Observers.	Right Ascension, 1860.	Annual Precession, 1860.	North Polar Distance, 1860.	Annual Precession, 1880.	Summary Description.	Notes.
7775	...	...	...	SX XIII	h 24 4	+3 03	62 03	-20 5	vF, p8, IR, gBm	
7776	...	...	...	O S I	23 45 30	3 09	104 10.4	20 0	vF, v8, IR, gBm	
7777	6229	...	...	S VIII	23 46 7	3 03	64 29 7	20 0	vF, v8, IR, gBm	
7778	5015	2298	III 234	...	23 46 11	3 06	82 54 3	20 0	vF, v8, R, p8M, stellar, 1st of 4	
7779	5026	2279	III 234	...	23 46 19	3 06	82 54 0	20 0	vF, v8, R, p8M, stellar, 2nd of 4	
7780	...	...	...	SX XII, Sw IV	23 46 21	3 06	82 39 6	20 0	vF, v8, R, B.M, F * lav	
7781	5027	2280	...	...	23 46 39	3 06	82 55 0	20 0	F, S, R, 3rd of 4	
7782	5028	2281	III 233	...	23 46 45	3 06	82 48 5	20 0	pF, p1, IR, gBm, 4th of 4	
7783	6230	...	...	m 591	23 46 59	3 07	90 24	20 0	F, S, IR	
7784	...	...	...	SX XIII	23 48 6	3 05	69 11	20 0	vF, v8, IR, M, r1, p of 2	
7785	5029	2282	II 468	...	23 48 10	3 07	84 51 8	20 0	pB, p8, IR, p8M, r, w 8 p 4 5	
7786	...	...	...	SX XIII	23 48 14	3 05	69 11 4	20 0	pF, p8, IR, vF at inv, f of 2	
7787	6231	...	...	m 592	23 48 41	3 07	90 13	20 0	vF, S, IR	
7788	5030	2283	...	...	23 49 43	2 98	29 23 3	20 0	Cl, v, pB, vC, at 10, 12...	
7789	5031	2284	VI 30	C H	23 49 59	2 99	34 3 8	20 0	Cl, v, vB, vnc, at 11...18	
7790	5032	2285	VII 56	...	23 50 1	2 98	29 33 8	20 0	Cl, pB, pC	
7791	5033	2286	...	...	23 50 47	3 06	80 0 3	20 0	vF, v8, F * (if not found)	
7792	6232	...	...	S, Y	23 50 55	3 06	74 17 0	20 0	vF, v8, IR	
7793	6233	...	...	O P Band	23 51 17	3 10	123 20 7	20 0	Like a comet. (1890)	
7794	5036	2288	III 466	EA	23 51 23	3 07	80 3 2	20 0	vF, p8, IR	
7795	5034	2287	...	...	23 51 34	3 00	30 45 7	20 0	Cl, v, F, IC, at 7, 10...	
7796	5035	4009	...	...	23 51 45	3 14	146 14 3	20 0	pB, v8, IR, gBm	
7797	5037	2289	III 867	...	23 51 50	3 07	89 8 4	20 0	vF, p8, IR, IR	
7798	5038	2290	II 232	...	23 52 16	3 06	70 1 7	20 0	pF, v8, R, vC, w 10 sp	
7799	6234	...	...	EA	23 52 21	3 05	59 29 1	20 0	vF, v8, w 16 close p	
7800	5039	2291	II 410	...	23 52 26	3 06	75 5 8 4	20 0	F, p8, R 29'	
7801	5040	2292	...	...	23 53 18	3 03	40 3 6	20 0	Cl, pB, pC, at 9...	
7802	5041	2293	...	...	23 53 50	3 07	84 3 2 1	20 0	vF, S, R, p8M	
7803	...	...	...	Sw VI	23 53 58	3 07	77 39 3	20 1	pF, p8, R, F * sp v m	
7804	6235	...	...	Schwartz	23 54 9	3 07	83 1 9	20 1	vF, D, w, nebular?	
7805	5042	2294	III 855	...	23 54 18	3 06	59 20 5	20 1	vF, S, R, vC, stellar, sp of 2	
7806	5043	2295	III 856	...	23 54 20	3 06	59 19 9	20 1	vF, S, R, stellar, nf of 2	
7807	...	...	...	O S I	23 54 30	3 08	109 33 0	20 1	vF, p8, IR	
7808	...	...	...	M 61	23 54 30	3 08	101 31 0	20 1	vF, v8, IR, small N, w 8 5 sp 3	
7809	6236	...	...	m 593	23 54 56	3 07	87 5 1	20 1	vF, v8	
7810	5044	2296	(III 984)	H, M 8	23 55 9	3 07	77 4 8 3	20 1	vF, stellar, 2 at sp in line	
7811	6237	...	...	m 594	23 55 15	3 07	87 26	20 1	vF, S, R, stellar	
7812	5045	4010	...	...	23 55 43	3 09	125 1 6	20 1	vF, S, R, am at	
7813	...	...	...	Mu II	23 56 4	3 08	102 4 6 0	20 1	vF, v8, R, 2 sp, w 8 5 f 39, 4 sp 40	
7814	5046	2297	II 240	...	23 56 5	+3 07	74 3 8 9	-20 1	ch, cl, R, vBm	

**Fig. 17.** New General Catalogue (NGC) de J. L. E. Dreyer, com 7840 objetos de céu profundo, publicado em 1888. Créditos: The Royal Astronomical Society/Internet Archive.

causadas pela precessão do eixo da Terra e um conjunto de abreviaturas que descrevem a natureza e a aparência do objeto. Como exemplo, a Fig. 18 mostra a linha correspondente ao objeto NGC 4590.

No.	G. C.	J. H.	W. H.	Other Observers.	Right Ascension, 1860.	Annual Precession, 1880.	North Polar Distance, 1860.	Annual Precession, 1880.	Summary Description.	Notes.
4590	3128	3404	...	M 68	h m s 12 32 5	s +3'17	115° 58' 8"	+19''8	⊕, L, eRi, vC, iR, rrr, st 12	

**Fig. 18.** Uma das linhas do New General Catalogue, correspondente ao objeto NGC 4590. Créditos: The Royal Astronomical Society/Internet Archive.

Na coluna *Other Observers* vemos que o objeto listado como NGC 4590 corresponde ao objeto listado por Messier como M68. Na coluna *Summary Description* encontramos a sequência “⊕, L, eRi, vC, iR, rrr, st 12” que, conforme legenda apresentada no catálogo, nos informa se tratar de um aglomerado globular (⊕), grande (L), extremamente rico em estrelas (eRi), muito compacto (vC), de forma redonda irregular (iR), com estrelas muito bem resolvidas (rrr), com estrelas de magnitude até 12 (st 12).

## 1.6 Magnitude Aparente

Os catálogos de Tycho, Bayer, Flamsteed e demais catálogos estelares produzidos a partir do Séc. XVII preservaram a tradição de Hiparcos e Ptolomeu, classificando as estrelas conforme seu brilho em uma escala de *grandezas*, com as estrelas mais brilhantes do céu correspondendo à **primeira grandeza** e as estrelas mais tênues, no limite da percepção visual, correspondendo à sexta grandeza.

A luminosidade assim percebida é a **magnitude aparente** da estrela, pois leva em consideração apenas o fluxo luminoso observado e não a distância do objeto. O que queremos dizer com isso é que um objeto com brilho intrínseco muito alto, mas posicionado a uma grande distância, pode parecer menos luminoso que um objeto menos brilhante, mas posicionado mais próximo do observador.

Derek Jones descreve em *Norman Pogson and the Definition of Stellar Magnitude*[22] as iniciativas dos Herschels e de astrônomos do Séc. XIX, como William Rutter Dawes (1799-1868) e Manuel John Johnson (1805-1859), buscando estabelecer uma relação matemática consistente para descrever a razão entre o fluxo luminoso de objetos de diferentes magnitudes, até chegarmos ao sistema atual, sugerido por Norman Pogson.

Pogson adotou em 1856, em uma tabela de efemérides de asteroides publicada na *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*[23], uma razão de exatamente 2,512 vezes entre os fluxos de dois objetos com uma magnitude de diferença. Ou seja, o telescópio recebe 2,512 vezes mais luz de uma estrela com magnitude 1 do que de uma estrela com magnitude 2.

A escala de magnitudes assim estabelecida é, portanto, uma escala comparativa entre fluxos, onde cada salto de uma magnitude corresponderá sempre a uma razão de 2,512 vezes entre os fluxos das estrelas comparadas<sup>25</sup>.

A escala de magnitudes varia em progressão aritmética, enquanto o fluxo varia em progressão geométrica.

Uma diferença de duas magnitudes corresponde então a uma razão de  $2,512 \times 2,512 = 6,310$  vezes entre os fluxos comparados.<sup>26</sup>

<sup>25</sup>Pogson aponta a conveniência da escolha da razão  $R = 2,512$  na simplificação do termo

$$\left(\frac{\log R}{2}\right)^{-1},$$

que assume o valor 5.

<sup>26</sup>De forma geral, a razão entre os fluxos  $F_1$  e  $F_2$  de duas estrelas de magnitude  $m_1$  e  $m_2$  é

$$\frac{F_1}{F_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}.$$

De acordo com esta definição, uma estrela de magnitude 1 é 100 vezes mais brilhante que uma de magnitude 6 (uma diferença de 5 magnitudes). Esta é uma relação que já havia sido sugerida por John Herschel.

$$\frac{F_1}{F_2} = 2,512^{6-1} = 2,512^5 \approx 100.$$

Este sistema tem o mérito de preservar aproximadamente o sistema tradicional de classificação do brilho estelar aparente, mantendo a magnitude 6 como o limite visual e estabelecendo uma relação matemática que define a razão entre fluxos luminosos a partir de diferenças de magnitude.

Também mantendo a tradição, um valor de magnitude numericamente maior significa um menor brilho. Nesta escala, a estrela Vega, na constelação de Lira, tem magnitude 0. Objetos menos brilhantes que Vega apresentam valores positivos de magnitude. Objetos mais brilhantes apresentam valores negativos. A Tab. 1 apresenta objetos com valores de magnitude acima e abaixo da estrela Vega.

Mag.	Objeto.
-26	Sol
-12	Lua Cheia
-4	Vênus (máx. elongação)
-2,67	Júpiter (durante a oposição)
-1,46	<i>Sirius</i> ( $\alpha$ CMa)
<b>0,03</b>	<b>Vega</b> ( $\alpha$ Lyr)
0,91	Antares ( $\alpha$ Sco)
3,59	<i>Ginan/Intrometida</i> ( $\epsilon$ Cru)
5,62	Urano (durante a oposição)
11	<i>Proxima Centauri</i>

**Tabela 1.** Magnitudes Visuais

O Sol, extremamente mais brilhante, corresponde à magnitude -26. O planeta Urano, com magnitude 5,62, está no limiar da visibilidade a olho nu. *Proxima Centauri*, a estrela mais próxima de nosso Sistema Solar, com magnitude 11, é 100 vezes menos luminosa que o limite de visibilidade a olho nu.<sup>27</sup>

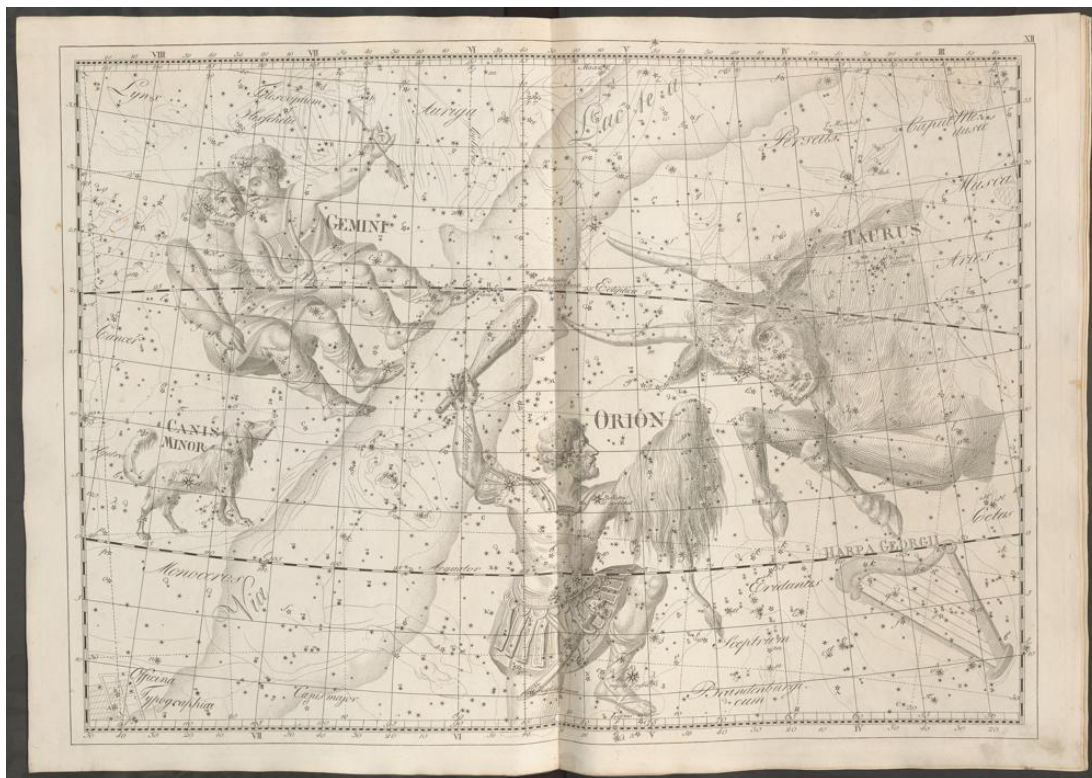
27

$$\frac{F_{\text{limite}}}{F_{\text{Proxima}}} = R^{(M_{\text{Proxima}} - M_{\text{limite}})} = 2,512^5 = 100.$$

## 1.7 O Céu Moderno

Chegamos ao Séc. XX com dois novos grandes planetas descobertos<sup>28</sup>, com estrelas (incluindo estrelas duplas e estrelas variáveis) e objetos de céu profundo catalogados nos dois hemisférios celestes e com dois sistemas de designação<sup>29</sup> para estrelas mais brilhantes.

No entanto, inexistia uma padronização para a definição das constelações e diferentes atlas acumulavam-se e concorriam entre si, agrupando em novas constelações as estrelas não associadas às constelações clássicas. Em alguns casos, essas novas constelações buscavam homenagear patronos e monarcas. A Fig. 19 mostra um desses exemplos, com a constelação Harpa de George, incluída por Johann Elert Bode (1747-1826) em seu atlas *Uranographia* (1801) como homenagem ao Rei George III.



**Fig. 19.** Constelações de Órion, Touro, Gêmeos e Cão Menor no atlas *Uranographia* (1801) de Johann Elert Bode. No canto inferior direito aparece a constelação Harpa de George, não adotada pela IAU entre as constelações atuais. Créditos: [ETH-Bibliothek Zürich](https://www.ethz.ch/en/research-infrastructure/eth-lib/eth-lib-zuerich.html)

<sup>28</sup>Perturbações na órbita Urano (descoberto em 13 de março de 1781 por William Herschel), levaram à hipótese da existência de um oitavo planeta. A posição do suposto planeta foi calculada independentemente por Urbain Le Verrier (1711-1877), na França, e por John Couch Adams (1819-1892), na Inglaterra. O planeta Netuno foi observado pela primeira vez em 23 de setembro de 1846, por Johann Gottfried Galle (1812-1910), no Observatório de Berlim, a menos de 1° da posição prevista por Le Verrier. Além de Urano e Netuno, uma nova classe de objetos do Sistema Solar havia sido descoberta: os asteroides.

<sup>29</sup>As designações de Bayer e Flamsteed.

A matéria passa a ser pacificada com o surgimento da [União Astronômica Internacional \(IAU\)](#), uma entidade fundada em 1919, com a missão de promover e salvaguardar a ciência da Astronomia em todos os seus aspectos, incluindo pesquisa, comunicação, educação e desenvolvimento, através da cooperação internacional.

Entre as muitas atribuições da IAU está a padronização de sistemas de coordenadas astronômicas e o estabelecimento de regras para nomenclatura de corpos celestes e de formações nas superfícies desses corpos.

Em sua primeira Assembleia Geral, em 1922, a IAU estabelece uma lista definitiva com 88 constelações, padronizando seus nomes e um sistema de abreviaturas com três letras (A lista completa de constelações, com suas traduções, abreviações e genitivos latinos pode ser encontrada nos apêndices, na pág. 105).

A lista da IAU, tornada oficial, inclui as 48 constelações gregas clássicas apresentadas por Ptolomeu no *Almagesto*. Uma delas, o Navio Argo (*Argo Navis*), dividida no Séc. XVII por Nicolas Louis de Lacaille (1713-1762) em três novas constelações: Popa (*Puppis*), Quilha (*Carina*) e Vela. Inclui também 7 novas constelações criadas por Johannes Hevelius (1611–1687)<sup>30</sup>, 14 constelações austrais criadas por Lacaille<sup>31</sup> e 12 constelações austrais criadas por Pieter Dirkszoon Keyser e Frederick de Houtman<sup>32</sup>, 4 constelações adicionadas por Petrus Plancius (1552–1622)<sup>33</sup> e, por fim, uma constelação<sup>34</sup> considerada pelos gregos como parte do Leão e representada separadamente pelo matemático e cartógrafo alemão Caspar Vopel (1511-1561) em 1536 e incluída pelo cartógrafo holandês Gerardus Mercator (1512–1594) em seu globo celeste de 1551.[24]

**Tabela 2.** Origem das constelações tornadas oficiais pela Assembleia Geral da IAU de 1922

Origem	Núm. de constelações
Ptolomeu	47
Caspar Vopel e Mercator	1
Keyser e de Houtman	12
Petrus Plancius	4
Hevelius	7
Lacaille	14
Navio Argos (Lacaille)	3
<b>Total</b>	<b>88</b>

**Fonte:** RIDPATH, I. *Constellations*. Disponível em: <http://www.ianridpath.com/constellations1.html>. Acesso em: 16 mar. 2025.

<sup>30</sup>Cães de Caça, Lagarto, Leão Menor, Lince, Escudo, Sextante, Raposinha.

<sup>31</sup>Máquina Pneumática, Cinzel, Compasso, Fornalha, Relógio, Mesa, Microscópio, Esquadro, Oitante, Pintor, Bússola, Retículo, Escultor, Telescópio.

<sup>32</sup>Ave-do-Paraíso, Camaleão, Dourado, Grou, Hidra Macho, Índio, Mosca, Pavão, Fênix, Triângulo Austral, Tucano, Peixe Voador.

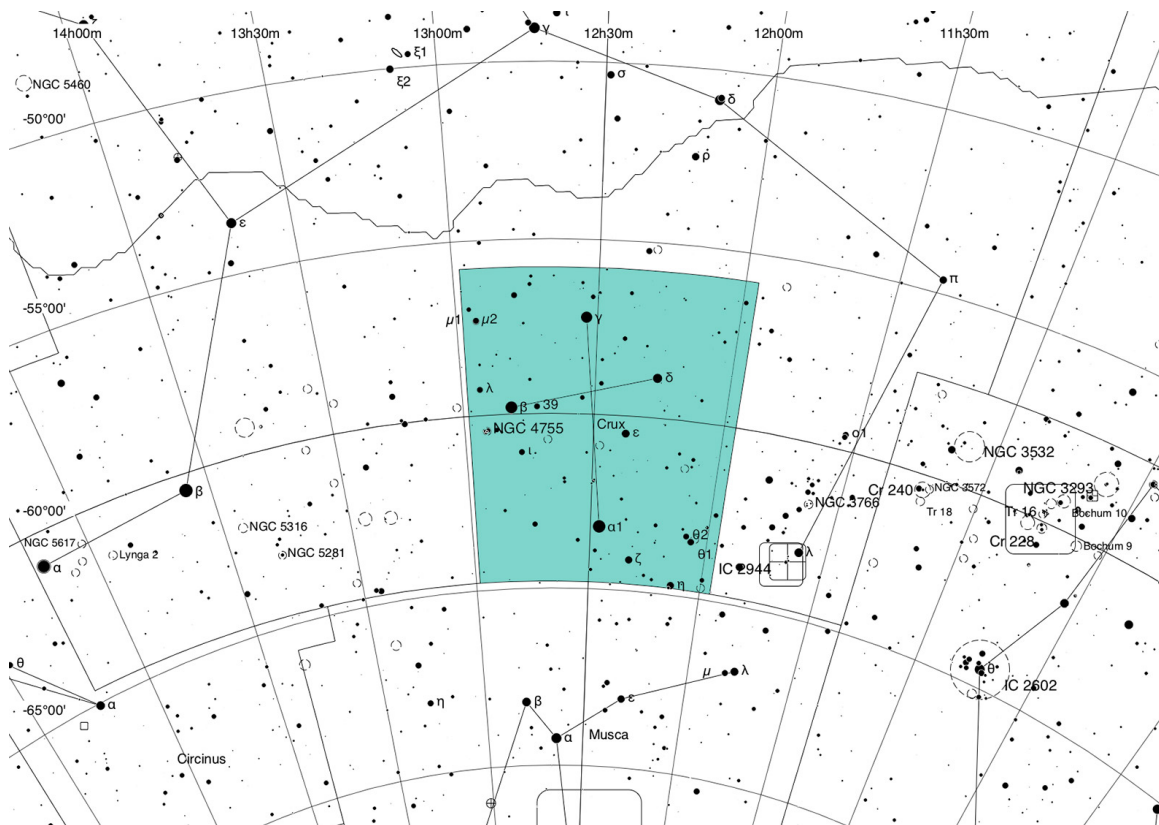
<sup>33</sup>Camelopardalis, Columba, Crux, Monoceros.

<sup>34</sup>Cabeleira de Berenice (*Coma Berenices*)

O uso científico das constelações, no entanto, requer não apenas a definição de uma lista oficial de constelações a ser adotada, mas também o estabelecimento de limites claros que permitam designar sem ambiguidade a constelação em que uma estrela variável foi descoberta, por exemplo.

Em 1925, na segunda Assembleia Geral da IAU, em Cambridge (Inglaterra), um sistema de bordas para as constelações, desenhadas ao longo de linhas de ascensão reta e de círculos de declinação (equivalentes aos meridianos e paralelos na Terra) foi proposto por Eugène Delporte, astrônomo do Observatório Real de Bruxelas. A IAU acatou a sugestão, designando Delporte para a tarefa. Os novos limites foram aprovados na Assembleia Geral de 1928, em Leiden (Holanda), e publicados em 1930 em *Délimitation Scientifique des Constellations* e no *Atlas Céleste*.

Com essas publicações, as constelações deixam de ser definidas como um grupo de estrelas, ou uma figura no céu, e passam a corresponder a uma região com contornos bem delimitados. Como exemplo, a constelação do Cruzeiro do Sul (*Crux*) corresponde a toda área em verde na Fig. 20 e não apenas à figura em forma de cruz.



**Fig. 20.** A constelação do Cruzeiro do Sul. Carta gerada no programa *SkyCharts*.

Explorar o céu a olho nu é um excelente primeiro passo em nossa jornada rumo a uma convivência mais íntima com o céu. É a partir desse reconhecimento que saberemos para onde apontar nossos olhos, nossos binóculos e nossos telescópios.

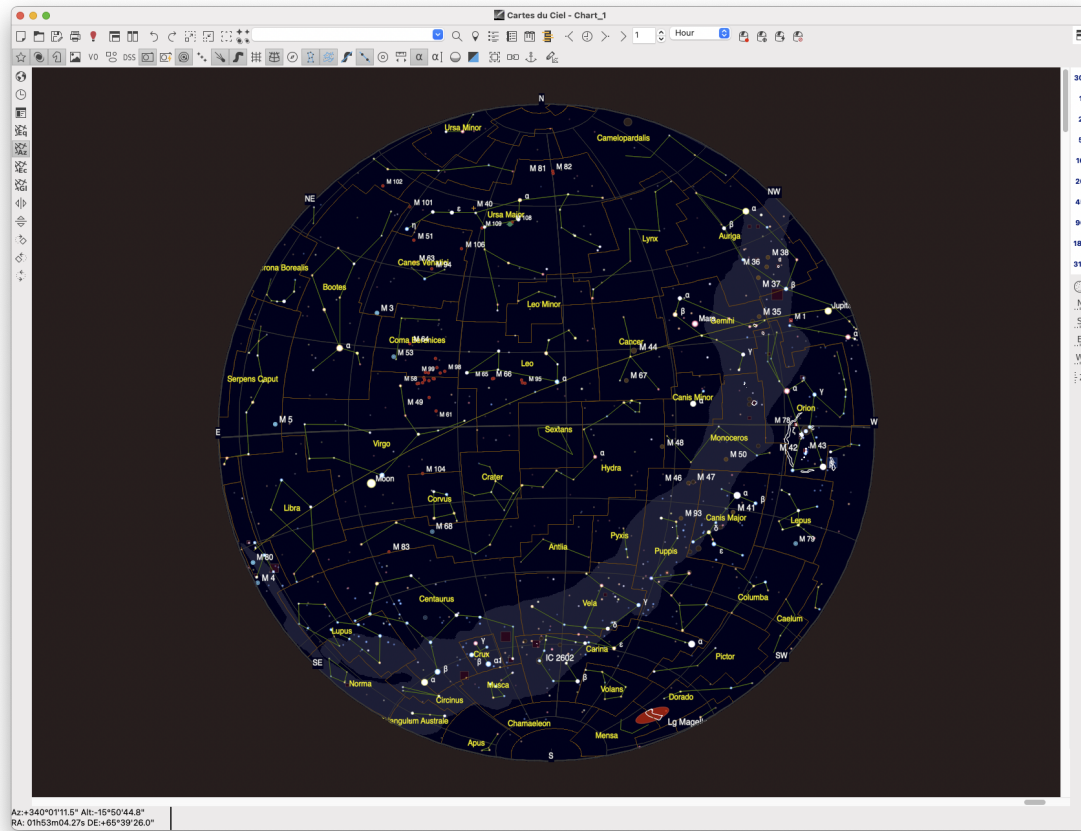
Aplicativos para dispositivos móveis são bons aliados para identificar constelações e objetos celestes, mas ter uma visão mais ampla, aumentando sua consciência situacional, pode acelerar o desenvolvimento da intimidade com o céu, suas regularidades e seus objetos. Essa visão mais ampla pode ser obtida com cartas impressas do céu ou com aplicativos para computadores, capazes de exibir o céu em uma tela de maiores dimensões.

Os aplicativos *Stellarium* (Fig. 21) e *Sky Charts (Cartes du Ciel)* (Fig. 22) são ferramentas gratuitas, disponíveis para os principais sistemas operacionais contemporâneos e oferecem uma visão de todo o céu, com recursos avançados para o planejamento de observações.



**Fig. 21.** Interface do programa Stellarium. Na tela, uma porção do céu austral, exibindo objetos do céu profundo e as bordas das constelações. Informações sobre o aglomerado globular  $\omega$  Centauri (NGC 5139) estão visíveis na tela.

O Stellarium [25] é um planetário desktop de código aberto para os sistemas operacionais Linux/Unix, Windows e macOS. Ele simula de maneira realista o céu visto a olho nu ou através de binóculos ou telescópios. Iniciantes podem utilizar sem grandes dificuldades suas funções básicas, enquanto usuários avançados podem se beneficiar de recursos poderosos de automação das simulações e de integração com telescópios. Seu desenvolvimento foi iniciado por Fabien Chéreau em 2001 e o projeto hoje está hospedado na plataforma [Github](https://github.com/stellarium/stellarium).



**Fig. 22.** Interface do programa Sky Charts (Cartes du Ciel).

EM CONSTRUÇÃO - DESCULPE-NOS O TRANSTORNO.

## 2. Coordenadas Celestes

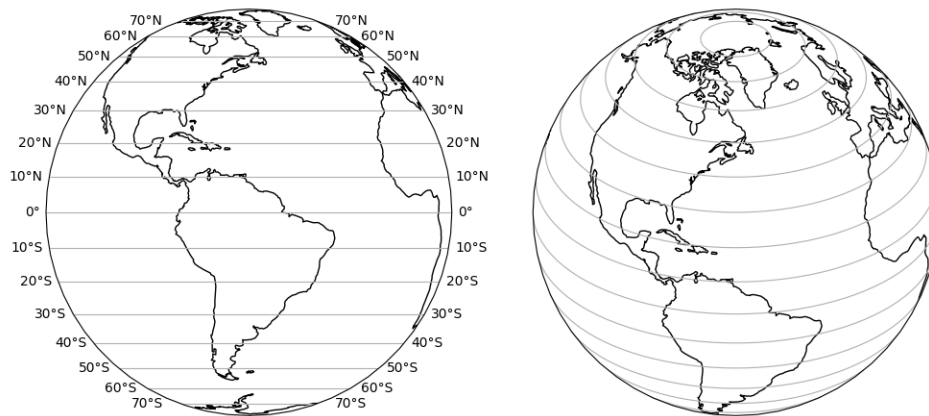
### 2.1 Coordenadas Geográficas

Para localizar um ponto na superfície de uma esfera, seja ela a esfera celeste ou o globo terrestre, precisamos definir um sistema de coordenadas que permita, sem ambiguidade, endereçar cada ponto nessa superfície esférica.

Na Terra, apesar de estarmos lidando com um objeto tridimensional (o globo terrestre), precisamos definir apenas duas coordenadas para identificar, inequivocamente, qualquer ponto confinado à sua superfície.

A definição desse sistema de coordenadas geográficas<sup>35</sup> vale-se da rotação terrestre para determinar um plano fundamental: o equador. O plano do equador é perpendicular ao eixo de rotação da Terra e divide o planeta em dois hemisférios - norte e sul.

A primeira coordenada, a **latitude**, define círculos paralelos ao equador (Fig. 23). A coordenada latitude varia de  $0^\circ$ , no equador, até  $\pm 90^\circ$  nos polos, com valores positivos correspondendo ao hemisfério norte e negativos, ao hemisfério sul. Conhecendo a latitude, sabemos a distância, em graus, do ponto até o equador.



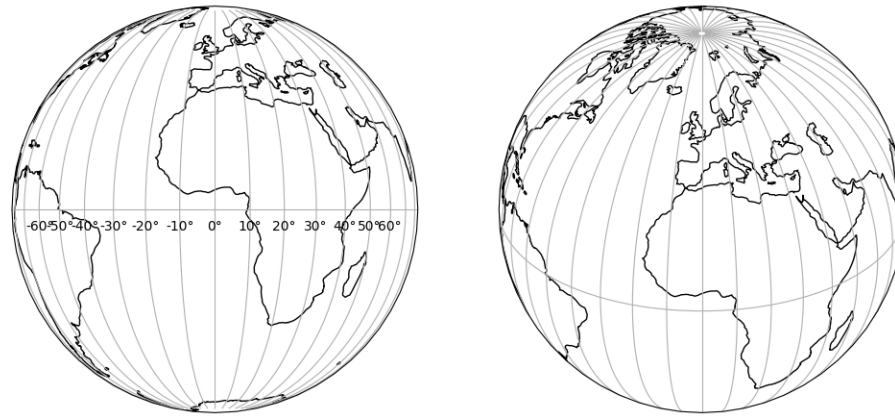
**Fig. 23.** Paralelos marcando latitudes a cada  $10^\circ$ . O paralelo  $0^\circ$  corresponde ao equador terrestre. Gráfico gerado com a biblioteca Cartopy. Créditos: Wandeclyt Melo.

Precisamos agora de uma segunda coordenada, a **longitude**, para determinar completamente a posição de um ponto. A longitude é definida pelos meridianos, linhas que ligam

<sup>35</sup>De acordo com o *Explanatory supplement to the Astronomical almanac*[26]: “O termo coordenadas geográficas refere-se à longitude e latitude terrestres quando determinadas por observações astronômicas em relação ao polo celeste e ao meridiano local, considerando a vertical local; e à altitude acima do geoide, frequentemente denominada altitude acima do nível médio do mar. Os termos coordenadas astronômicas e coordenadas terrestres também são empregados para essas coordenadas.”

os polos norte e sul, cruzando perpendicularmente o equador.

A longitude varia de  $0^\circ$ , no meridiano que passa por Greenwich (Inglaterra), até  $\pm 180^\circ$ , com valores positivos a leste e negativos a oeste (Fig. 24)



**Fig. 24.** Meridianos espaçados de  $10^\circ$  a partir do meridiano central. Gráfico gerado com a biblioteca Cartopy. Créditos: Wandeclyt Melo.

Mas, enquanto o equador - a origem da coordenada latitude - é definido por uma referência bem estabelecida (o plano perpendicular ao eixo de rotação e que divide a Terra em dois hemisférios), a origem para a coordenada longitude é uma escolha arbitrária.

## 2.2 O Meridiano Principal

Até o Séc. XIX, cartas de navegação usavam múltiplos meridianos de origem, não havendo uma padronização internacional para a origem da coordenada longitude. Historicamente, a determinação de uma longitude de referência e a determinação da hora local são realizadas por métodos astronômicos, observando e cronometrando a passagem de astros de coordenadas celestes conhecidas sobre o meridiano local.

Telescópios especiais, conhecidos como *círculos meridianos*<sup>36</sup>, foram projetados especialmente para este tipo de medida. Estes telescópios possuem um único eixo, movendo-se apenas em elevação, mantendo fixo o azimute, alinhado com a direção norte-sul. A escolha de um meridiano principal passa então pela escolha de um observatório de referência, capaz de realizar as medidas de tempo e posição necessárias.

<sup>36</sup>No Brasil, o Observatório Abrahão de Moraes (OAM) do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), em Valinhos (SP), recebeu um círculo meridiano, instalado em 1975 e que operou em conjunto com um instrumento similar no Observatório de Bourdeaux, na França.

À necessidade de um meridiano principal comum, somava-se também a necessidade de um padrão de hora e data universal, motivada pelo desenvolvimento das telecomunicações através da disseminação da telegrafia.

O meridiano que passa pela luneta meridiana de Airy<sup>37</sup>, no Observatório Real de Greenwich (Inglaterra), foi proposto como meridiano principal na *International Meridian Conference*[27], em 1884 em Washington, D.C. (EUA). A Conferência foi um congresso inter-governamental, a convite do Governo dos Estados Unidos “*com o propósito de estabelecer um meridiano apropriado a ser empregado como zero comum de longitude e como padrão para a medição do tempo em todo o globo.*”<sup>38</sup>.

Um argumento pragmático pesava em favor de Greenwich: estimava-se que 72% do comércio marítimo mundial, em volume, e 65%, em número de embarcações, utilizavam cartas náuticas que referenciavam o meridiano inglês.

A conferência contou com a presença de 41 delegados de 25 nações, incluindo o Brasil, representado pelo diretor do Observatório Imperial, Dr. Luis Cruls.

Em seu ato final (Fig. 25), a recomendação para a adoção de um único meridiano principal, em lugar dos múltiplos meridianos iniciais adotados à época, foi aprovada por unanimidade.

Em seguida, foi aprovada a proposta de adoção do meridiano de Greenwich como a origem das longitudes. A votação desta resolução, no entanto, teve duas abstenções importantes, a do Brasil e a da França.

O representante brasileiro, Luis Cruls, justificou que suas instruções o permitiam participar das discussões, mas não o autorizavam a comprometer o governo com uma decisão vinculativa quanto à escolha de um meridiano. Pela parte francesa, a abstenção foi motivada pela oposição à adesão a um meridiano central que não fosse neutro e imparcial. Em acaloradas discussões, registradas na ata do evento, a delegação francesa, composta pelo astrônomo Jules Jansen<sup>39</sup> e pelo cônsul Alexis Lefavre<sup>40</sup>, propunha:

“Que o meridiano inicial deve ter um caráter de absoluta neutralidade. Ele deve ser escolhido exclusivamente de forma a assegurar à ciência e ao comércio internacional todas as vantagens possíveis e, em particular, não deve atravessar nenhum grande continente – nem a Europa nem a América.”<sup>41</sup>

<sup>37</sup>O círculo meridiano no Observatório de Greenwich foi projetado pelo Astrônomo Real George Bidell Airy (1801-1892) e operou de 1851 a 1954.

<sup>38</sup>*The Delegates to the International Meridian Conference, who assembled in Washington upon invitation addressed by the Government of the United States to all nations holding diplomatic relations with it, “for the purpose of fixing upon a meridian proper to be employed as a common zero of longitude and standard of time reckoning throughout the globe” held their first conference to-day, October 1, 1884, in the Diplomatic Hall of the Department of State.*[27]

<sup>39</sup>Pierre Jules César Janssen (1824-1907).

<sup>40</sup>Alexis Albert Lefavre ((1830-1907).

<sup>41</sup>“*That the initial meridian should have a character of absolute neutrality. It should be chosen exclusively so as to secure to science and to international commerce all possible advantages, and in particular especially should cut no great continent—neither Europe nor America.*”

## FINAL ACT.

The President of the United States of America, in pursuance of a special provision of Congress, having extended to the Governments of all nations in diplomatic relations with his own, an invitation to send Delegates to meet Delegates from the United States in the city of Washington on the first of October, 1884, for the purpose of discussing, and, if possible, fixing upon a meridian proper to be employed as a common zero of longitude and standard of time-reckoning throughout the whole world, this International Meridian Conference assembled at the time and place designated; and, after careful and patient discussion, has passed the following resolutions:

### I.

“That it is the opinion of this Congress that it is desirable to adopt a single prime meridian for all nations, in place of the multiplicity of initial meridians which now exist.”

This resolution was unanimously adopted.

### II.

“That the Conference proposes to the Governments here represented the adoption of the meridian passing through the centre of the transit instrument at the Observatory of Greenwich as the initial meridian for longitude.”

**Fig. 25.** Resoluções I e II da *International Meridian Conference*, de 1884, adotando o meridiano de Greenwich, como meridiano central.

Esta proposta recebeu apenas três votos (França, Brasil e San Domingo) e prevaleceu a indicação do meridiano de Greenwich como resolução no ato final.

A Conferência aprovou sete resoluções ao todo, versando sobre a recomendação de um meridiano principal comum e de um dia universal, iniciando à meia-noite do meridiano principal. As resoluções listadas no Ato Final da conferência e publicadas nos *proceedings*[27] do encontro são:

- I Que é opinião deste Congresso que é desejável adotar um único meridiano principal para todas as nações, em lugar da multiplicidade de meridianos iniciais que atualmente existem..
- II Que a Conferência propõe aos governos aqui representados a adoção do meridiano que passa pelo centro do instrumento de trânsito do Observatório de Greenwich como o meridiano inicial para a longitude.
- III Que, a partir deste meridiano, a longitude deverá ser contada em duas direções até

180 graus, com a longitude a leste sendo positiva e a longitude a oeste negativa.

- IV Que a Conferência propõe a adoção de um dia universal para todos os fins para os quais possa ser considerado conveniente, e que não interfira com o uso do tempo local ou de outro padrão de tempo onde for desejável.
- V Que este dia universal deverá ser um dia solar médio; deverá começar para todo o mundo no momento da meia-noite média do meridiano inicial, coincidindo com o início do dia civil e a data desse meridiano; e deverá ser contado de zero até vinte e quatro horas.
- VI Que a Conferência expressa a esperança de que, assim que for possível, os dias astronômicos e náuticos sejam organizados em todos os lugares para começar à meia-noite média.
- VII Que a Conferência expressa a esperança de que os estudos técnicos destinados a regular e ampliar a aplicação do sistema decimal à divisão do espaço angular e do tempo sejam retomados, a fim de permitir a extensão dessa aplicação a todos os casos em que ela apresente vantagens reais.

O texto integral da ata da conferência foi digitalizado pelo Project Gutenberg e está disponível online em <https://www.gutenberg.org/ebooks/17759>.

Apesar da falta de unanimidade em algumas votações, o meridiano de Greenwich tornou-se, de fato, o meridiano principal para a cartografia e para o estabelecimento de um padrão de hora universal, sendo a base para os atuais Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS) <sup>42</sup>.

Há, no entanto, um desvio de 102 m a leste entre a longitude 0 indicada por receptores GNSS e o círculo meridiano de Airy, em Greenwich. Este desvio é justificado pela deflexão da vertical da gravidade local. Ou seja, o método utilizado para alinhar o plano do instrumento astronômico verticalmente depende da gravidade, que está sujeita a não-homogeneidades que fazem com que uma linha de prumo local não aponte exatamente para o centro de massa da Terra. O plano que define o meridiano principal no International Terrestrial Reference Frame (ITRF)<sup>43</sup> é um plano paralelo ao plano do círculo meridiano de Airy, deslocado 102 m a leste e passando pelo centro de massa da Terra[28].

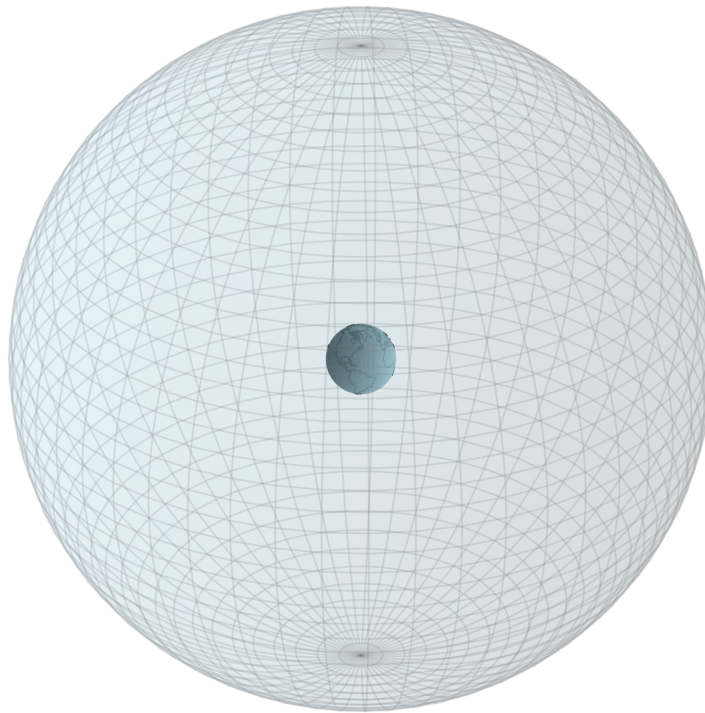
---

<sup>42</sup>Global Navigation Satellite System (GNSS) - Os sistemas de navegação GNSS operam a partir de sinais emitidos por constelações de satélites. Por sua importância econômica e estratégica em aplicações de defesa, potências espaciais como EUA (GPS), Rússia (GLONASS), Europa (Galileo) e China (BeiDou) possuem suas próprias constelações de GNSS. Índia (INRSS) e Japão (QZSS) operam constelações reduzidas provendo informação de posicionamento regional.

<sup>43</sup>O ITRF é um referencial geocêntrico, com centro de massa definido para toda a Terra, incluindo oceanos e atmosfera. É mantido pelo International Earth Rotation Service (IERS). O IERS é uma organização estabelecida pela União Astronômica Internacional (IAU) e pela União Internacional de Geodésia e Geofísica (IUGG).

### 2.3 A Esfera Celeste

A *esfera celeste* é uma esfera concêntrica ao globo terrestre, de raio arbitrariamente grande, onde projetamos os diversos sistemas de coordenadas celestes, negligenciando - a princípio - as diferentes distâncias a que se encontram os objetos astronômicos, confinando-os à superfície dessa esfera. A esfera celeste é uma abstração indispensável para a definição e compreensão dos sistemas de coordenadas celestes.



**Fig. 26.** Representação da esfera celeste envolvendo o globo terrestre. Créditos: Wandeclyt Melo.

Dizer que negligenciamos as distâncias dos objetos significa dizer que essas distâncias são tão grandes, comparadas com as dimensões da Terra e de sua órbita em torno do Sol, que as estrelas podem ser consideradas como pontos fixos na superfície de uma esfera de raio infinito.

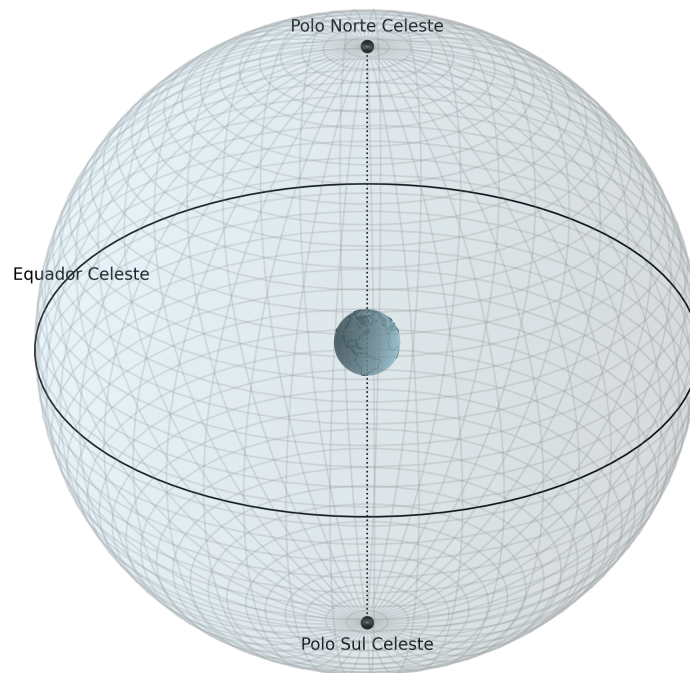
Isso resume os sistemas de coordenadas celestes a sistemas bidimensionais, que definem a direção de um corpo através de ângulos medidos a partir de dois planos de referência, sem considerar suas distâncias. A rigor, quando dizemos “posição” de um astro, estamos na verdade nos referindo à sua direção.

Embora o deslocamento diurno dos astros, surgindo no horizonte leste e se pondo no horizonte oeste, seja causado pela rotação da Terra de oeste para leste, consideraremos, por conveniência, que a esfera celeste esteja girando de leste para oeste e nos referiremos a esse movimento como o **movimento diurno aparente** dos astros

Ao admitir que a esfera celeste esteja regularmente em rotação, admitimos, por extensão, a existência de um eixo de rotação e de polos em torno dos quais se dá esse movimento.

Podemos também definir um plano, perpendicular ao eixo de rotação e que contenha o centro da esfera celeste e do globo terrestre. Este plano, que coincide com o plano do equador terrestre, é chamado **equador celeste**.

O plano do equador celeste corta a esfera celeste definindo um **grande círculo**. Em qualquer esfera, chamamos de **grande círculo** a um círculo máximo, que divide a esfera em duas metades iguais, ou hemisférios (Fig. 27).

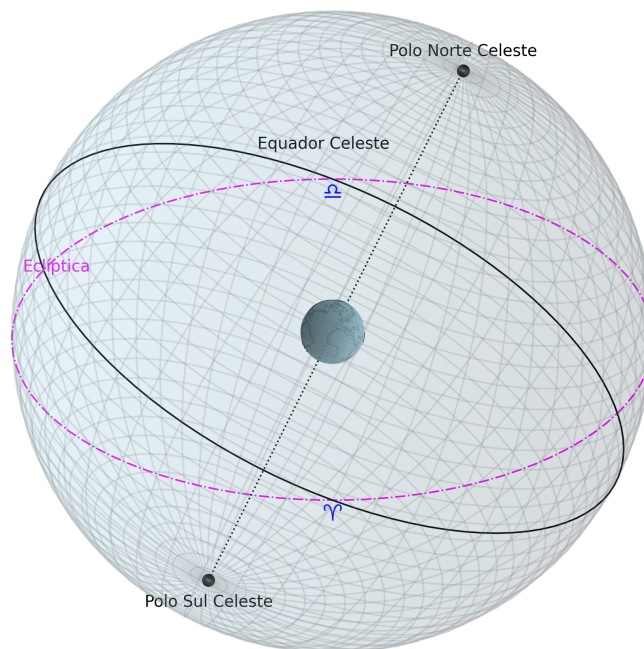


**Fig. 27.** Projeção do equador e dos polos terrestres na esfera celeste, definindo o equador e os polos celestes. Créditos: Wandeclyt Melo.

Ao considerar a Terra como um objeto fixo e observando, ao longo de um ano, a trajetória descrita pelo centro do Sol com relação às estrelas fixas, veríamos que essa trajetória

corresponderia também a um grande círculo na esfera celeste. Esse grande círculo é chamado de **eclíptica**. O plano da eclíptica é, na verdade, o plano da órbita terrestre<sup>44</sup>.

A eclíptica e o equador celeste definem grandes círculos distintos na esfera celeste, inclinados  $23,4^\circ$  entre si. Os dois pontos em que a eclíptica corta o equador são chamados de **equinócio vernal**<sup>45</sup> e **equinócio autonal**<sup>46</sup>, marcados como ( $\Upsilon$ ) e ( $\text{♏}$ ), respectivamente, na Fig. 28. Os termos “vernal” e “autonal” referem-se ao início das estações primavera e outono no hemisfério norte.



**Fig. 28.** Esfera celeste com a representação da eclíptica e do equador e polos celestes. O plano do equador é inclinado  $23,4^\circ$  em relação à eclíptica. Créditos: Wandeclyt Melo.

Os polos celestes, a eclíptica e o equador celeste são elementos que nos ajudarão a construir os sistemas de coordenadas esféricas que nos permitirão indicar as direções dos

<sup>44</sup>A **Resolução B1**[29] adotada na Assembleia Geral da União Astronômica Internacional de 2006 define a eclíptica não em função da órbita terrestre, mas da órbita do centro de massa do sistema Terra-Lua: “*that the ecliptic pole should be explicitly defined by the mean orbital angular momentum vector of the Earth-Moon barycenter in the Barycentric Celestial Reference System (BCRS), and this definition should be explicitly stated to avoid confusion with other, older definitions*”.

<sup>45</sup>Do latim *Vernalis*.

<sup>46</sup>Do latim *Autumnalis*.

astros na esfera celeste.

Este não é um sistema adequado para estudar a dinâmica orbital de corpos do Sistema Solar, onde a Física se beneficia de um referencial centrado no Sol<sup>47</sup>. Todavia, esses movimentos aparentes são perfeitamente adequados para medir a passagem do tempo e para mapear as estrelas fixas e objetos de céu profundo, utilizando coordenadas projetadas na esfera celeste.

As coordenadas celestes, assim como as medidas de tamanho aparente ou de separação entre dois astros na esfera celeste, são angulares. Ou seja, quando dizemos que o diâmetro aparente do Sol é de aproximadamente  $0,5^\circ$  ou que a separação entre duas estrelas é de  $10''$ , não estamos nos referindo ao diâmetro real do Sol ou à distância entre as duas estrelas no espaço, mas sim, dizendo que o disco do Sol, visto da Terra, corresponde a um ângulo de  $0,5^\circ$  (ou  $30'$ ) e que a separação entre as duas estrelas, também para um observador na Terra, corresponde a um ângulo de  $10''$  (10 segundos de arco), independente da distância real entre esses astros.

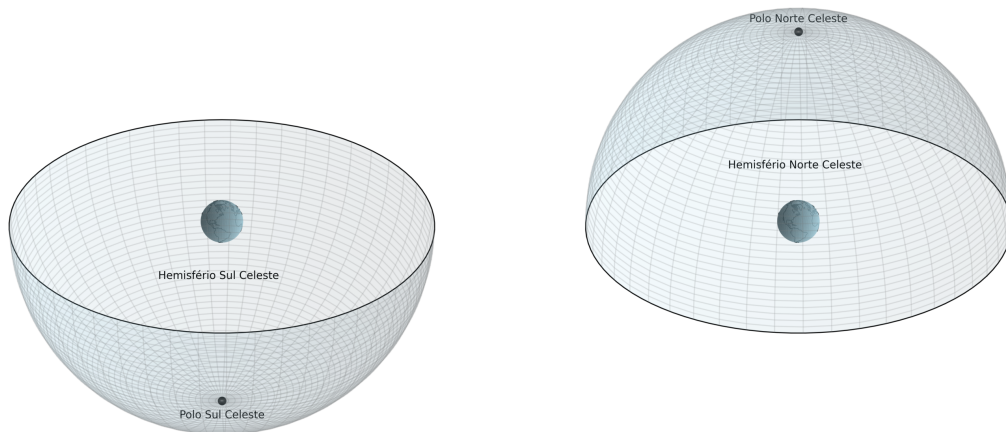
---

<sup>47</sup>O centro de massa (CM) do Sistema Solar não coincide exatamente com o centro do Sol. A contribuição da massa de todos os corpos nas vizinhanças do Sol, especialmente os planetas de maior massa, deslocam a posição do CM, que em certas configurações, pode inclusive estar ligeiramente fora do Sol.

## 2.4 Coordenadas Celestes Equatoriais

Definida a esfera celeste, passamos à escolha de um plano fundamental para estabelecer um sistema de coordenadas esféricas. Tomando o equador celeste como plano fundamental, construímos um sistema de **Coordenadas Celestes Equatoriais**.

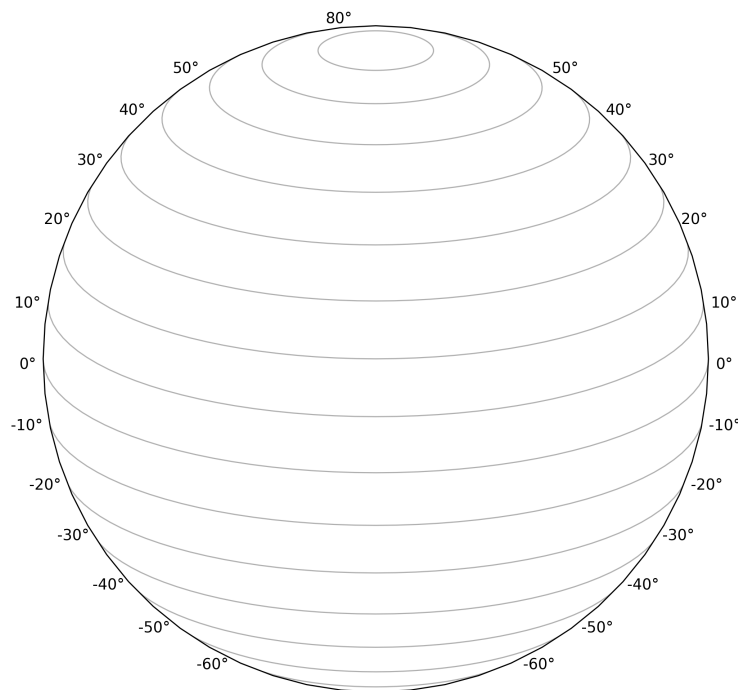
O equador celeste é um círculo máximo da esfera celeste e a divide em **Hemisfério Norte Celeste** e **Hemisfério Sul Celeste** (Fig. 29).



**Fig. 29.** Hemisférios celestes. O Equador divide a esfera celeste em Hemisfério Sul Celeste (esq. e Hemisfério Norte Celeste (dir.). Créditos: Wandeclyat Melo.

A primeira coordenada, análoga à latitude nas coordenadas geográficas, é a **Declinação**. A declinação, simbolizada pela letra grega delta minúscula ( $\delta$ ), nos dá a separação angular do objeto até o equador celeste, em graus ( $^\circ$ ), variando de  $0^\circ$  a  $\pm 90^\circ$ , com valores positivos no hemisfério norte e negativos no hemisfério sul. Ou seja, um objeto posicionado exatamente sobre o equador celeste tem declinação  $\delta = 0^\circ$ . Um objeto no hemisfério sul celeste, separado de  $10^\circ$  do equador celeste, tem declinação  $\delta = -10^\circ$ . Um objeto exatamente na direção do polo norte celeste tem declinação  $\delta = 90^\circ$ .

A declinação define círculos paralelos ao equador celeste (Fig. 30).



**Fig. 30.** Esfera celeste com indicação dos paralelos de declinação. Créditos: Wandeclyt Melo.

Passamos agora para a definição de uma coordenada longitudinal, completando nosso sistema de coordenadas. O passo inicial é a definição de uma origem.

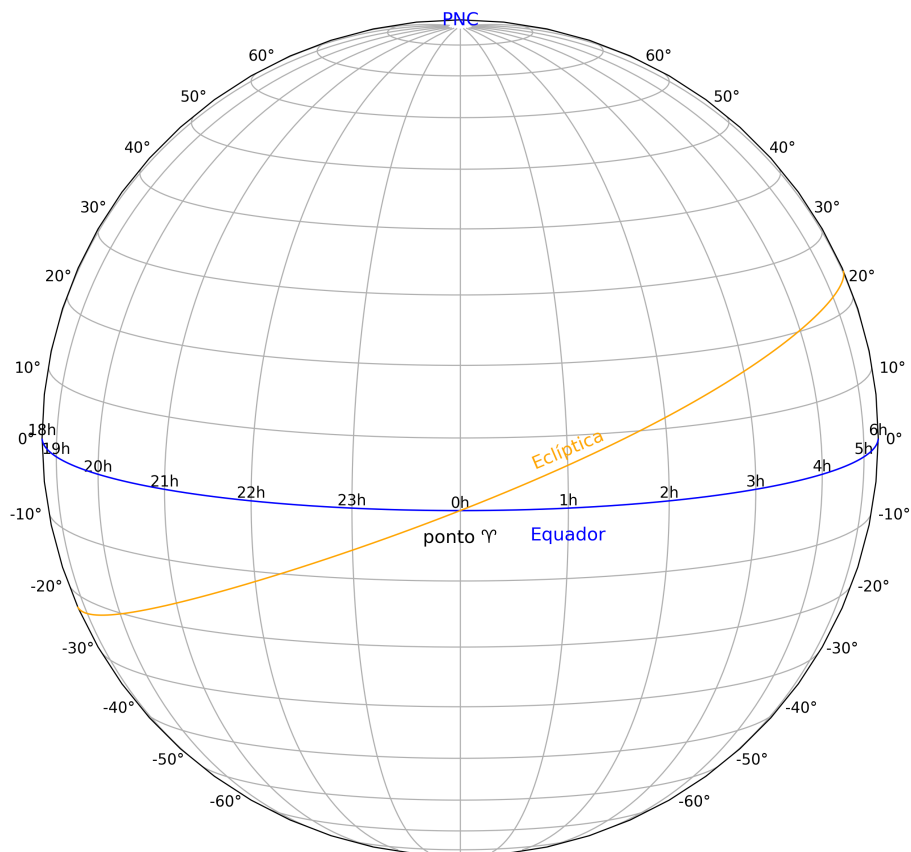
Na Terra, o meridiano que passa pelo Observatório Real de Greenwich, na Inglaterra, foi escolhido arbitrariamente como o meridiano principal (Seção. 2.2) e, a partir dele, medimos a longitude a leste e a oeste.

No sistema de coordenadas celestes equatoriais, apesar da origem da coordenada longitudinal não ser um ponto arbitrário, ela não é definida pela posição de um objeto físico.

Vimos na Seção 2.3 dois planos que desenham grandes círculos na esfera celeste: o equador, definido pela rotação da Terra, e a eclíptica, definida pela órbita terrestre em torno do Sol. Vimos também que esses planos são inclinados entre si, com uma obliquidade de  $23,4^\circ$ . Quando dizemos que o eixo da Terra é inclinado, estamos falando dessa inclinação cuja referência é o plano orbital (o plano da eclíptica).

Tomamos como origem para a coordenada longitudinal, chamada **Ascensão Reta** ( $\alpha$ ), o ponto  $\Upsilon$ , correspondente ao cruzamento do Sol pelo equador celeste, quando o Sol passa do hemisfério sul para o hemisfério norte celeste (Fig. 31).

A ascensão reta é medida em horas, minutos e segundos, variando de 0 h a 24 h, com valores crescendo a leste.



**Fig. 31.** A Esfera Celeste com o Sistema de Coordenadas Equatoriais. A declinação ( $\delta$ ) é equivalente à latitude e a ascensão reta ( $\alpha$ ) equivale à longitude. O ponto vernal ( $\Upsilon$ ), uma das intersecções entre o equador celeste e a eclíptica, é a origem da coordenada Ascensão Reta, medida de 0 h a 24 h, com valores crescentes a leste. Créditos: Wandeclyt Melo.

Construímos assim um sistema completo de coordenadas celestes, tomando como plano fundamental o equador celeste, a partir do qual medimos a declinação do astro, e como meridiano principal, aquele que passa pelo ponto  $\Upsilon$ , a partir do qual medimos a coordenada ascensão reta.

## 2.5 Precessão

Para a origem da coordenada ascensão reta, o ponto escolhido ( $\Upsilon$ ) tem significado astronômico, não carregando a arbitrariedade que caracterizou a escolha da origem para a longitude nas coordenadas geográficas.

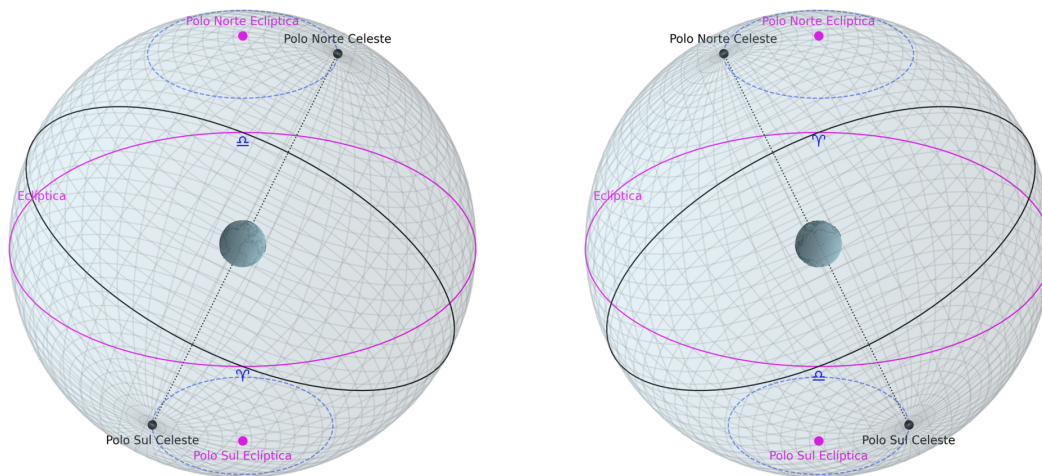
No entanto, embora arbitrário, o meridiano de Greenwich permanece fixo na Terra. Enquanto o ponto vernal desloca-se sobre a eclíptica ao longo de um ciclo com período de aproximadamente 26 mil anos.

No Livro VII do Almagesto[30], Ptolomeu cita que Hiparcos, no Séc. II a.C., já havia

detectado que as estrelas mantinham uma configuração constante, conservando o aspecto das constelações e mantendo distâncias constantes entre si e por isso podiam ser chamadas de *estrelas fixas*<sup>48</sup>, mas que o mesmo não podia ser dito da esfera celeste, onde as estrelas estariam “incrustadas”, que parecia mudar a orientação de seu eixo de rotação com relação ao plano da eclíptica.

Não estamos falando aqui do movimento diurno da esfera celeste, resultante da rotação terrestre. Mas de um lento deslocamento dos polos celestes, causado pela mudança de orientação do eixo de rotação terrestre.

A Fig. 32 ilustra o movimento percebido por Hiparco e confirmado por Ptolomeu. As configurações representadas na figura correspondem à mudança de orientação do eixo da Terra em um intervalo de 13 mil anos.



**Fig. 32.** Precessão do eixo terrestre.

Este movimento de **Precessão** do eixo terrestre, é similar ao movimento de um pião. A precessão faz com que o plano do equador terrestre varie, fazendo variar, por consequência, os pontos onde o equador celeste e a eclíptica se cruzam.

Em 13 mil anos, após meio ciclo do movimento de precessão, os pontos ♈ e ♏ estarão invertidos.

Na prática, isso significa que as coordenadas equatoriais para um astro variam em função da data. Ao consultar, no catálogo online **SIMBAD** (*the Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data*), as coordenadas do aglomerado de estrelas NGC 5139 (*ω Centauri*) encontraremos os seguintes valores:

Essas coordenadas correspondem à configuração do equador celeste, em relação à eclíptica, em primeiro de janeiro do ano 2000, às 12:00 (TT)<sup>49</sup>. Para encontrar as coordenadas

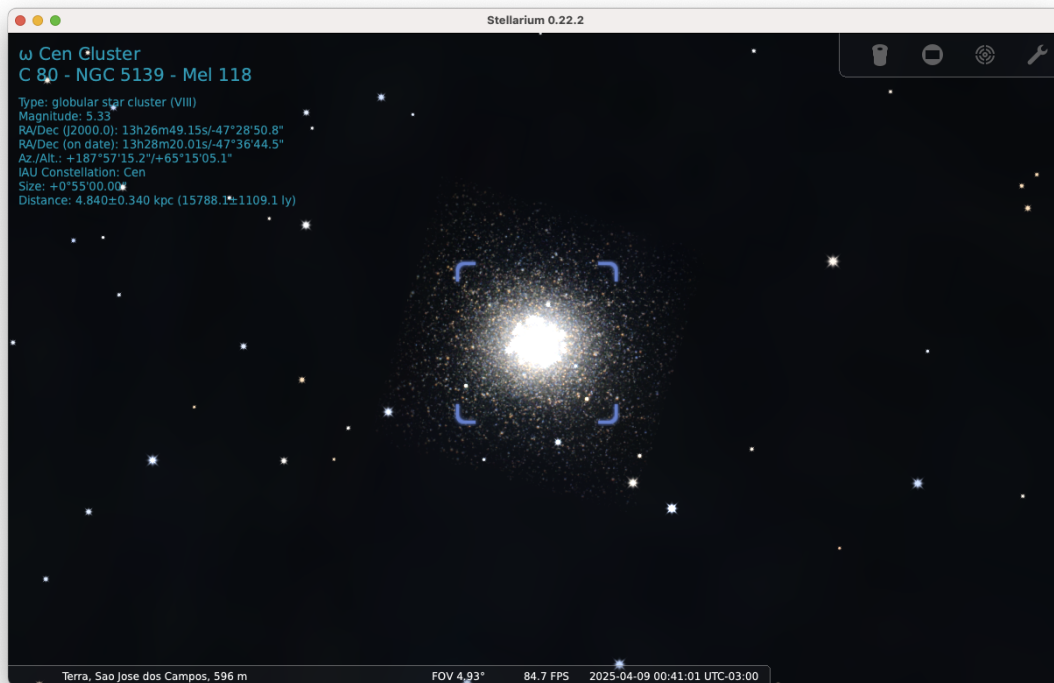
<sup>48</sup>O termo *estrelas fixas* as diferencia dos planetas, que são “*astros errantes*”.

<sup>49</sup>TT = Tempo Terrestre.

Objeto	R.A.	Dec.	Epoch
NGC 5139	13 26 47.28	-47 28 46.1	J2000.0

**Tabela 3.** Coordenadas Equatoriais (J2000) do aglomerado globular NGC 5139 ( $\omega$  Centauri)

válidas para a data da observação, é preciso computar a precessão entre a data de referência (J2000.0) e a data atual. Sistemas de apontamento de telescópios profissionais e mesmo planetários digitais como o Stellarium são capazes de computar as coordenadas (RA/Dec) da data, a partir das coordenadas J2000 (Fig. 33).



**Fig. 33.** Captura de tela do software Stellarium com informações do objeto NGC 5139 ( $\omega$  Cen).

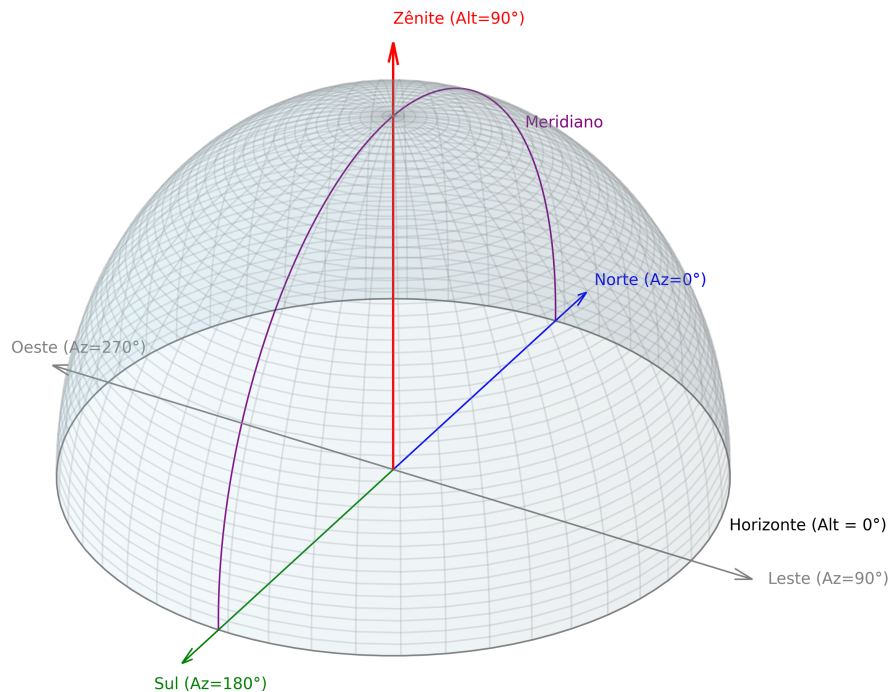
## 2.6 Coordenadas Horizontais

O sistema horizontal (ou altazimutal) de coordenadas é um referencial local, centrado no observador, e seu plano fundamental é o plano do horizonte, a partir do qual é medida a coordenada *elevação*, ou *altura*, do astro.

A Fig. 34 representa o **hemisfério zenital**, a metade visível da esfera celeste acima do horizonte. O observador está localizado no centro do plano horizontal e vemos a indicação da direção norte em azul.

A linha vertical vermelha passa pelo observador. Dois pontos localizados ao longo dessa vertical que passa pelo observador e pelo centro da Terra recebem nomes especiais. O **zênite** é o ponto localizado acima do observador, com  $90^\circ$  de elevação acima do horizonte. O ponto oposto ao zênite chama-se **nadir**.

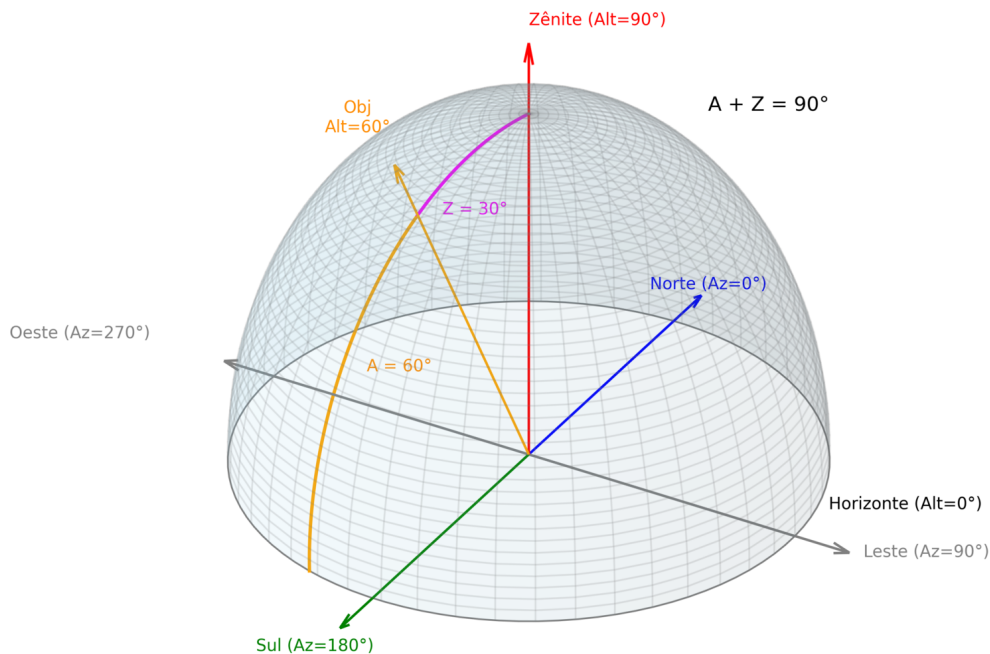
O plano vertical, orientado ao longo da direção norte-sul, que define um grande círculo na esfera celeste, passando pelo zênite, é o **Meridiano Local** do observador.



**Fig. 34.** Hemisfério celeste zenital (acima do horizonte). Estão representados o zênite, os pontos cardeais e o plano do meridiano local. Créditos: Wandeclyt Melo.

As coordenadas no sistema horizontal são a **altura** e o **azimute**. A altura varia de  $0^\circ$  no horizonte a  $90^\circ$  no zênite. Valores de altura negativos descrevem objetos abaixo do horizonte. O **azimute** é medido ao longo do horizonte, com origem no ponto cardinal norte e crescendo a leste. O azimute varia de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , com  $0^\circ$  correspondendo ao ponto cardinal norte,  $90^\circ$  ao leste,  $180^\circ$  ao sul e  $270^\circ$  ao oeste.

Altura de um astro (A) e sua distância ao zênite (Z) são complementares (Fig.35), valendo a igualdade:  $A + Z = 90^\circ$ .



**Fig. 35.** Altura (em laranja) e distância zenital (em magenta). No exemplo da figura, a altura (A) do objeto é  $60^\circ$  e a distância zenital (Z) é  $Z = 90^\circ - A = 30^\circ$ .

As coordenadas altazimutais permitem um apontamento rápido, sem necessidade de um alinhamento polar<sup>50</sup> preciso da montagem do telescópio, sendo necessário apenas conhecer a direção do norte verdadeiro<sup>51</sup>. Por ser um referencial estritamente local<sup>52</sup>, a altura e o azimute precisam ser calculados não apenas para o instante da observação, mas também para as coordenadas geográficas de cada observador.

<sup>50</sup>

<sup>51</sup>O norte encontrado com a utilização de uma bússula é o norte magnético. Caso uma bússula seja utilizada, é preciso aplicar a correção da declinação magnética do local para encontrar o norte verdadeiro.

<sup>52</sup>Diferente das coordenadas equatoriais, que são geocêntricas – ou seja, definidos em relação ao centro da Terra – as coordenadas horizontais são topocêntricas. Seu plano fundamental, o horizonte, é tangente à superfície da Terra no ponto onde se encontra o observador.

### 2.6.1 Fênomenos Astronômicos em Coordenadas Horizontais

O nascer, o ocaso e a passagem meridiana de um astro são fenômenos descritos em função de coordenadas horizontais.

Para o Sol e a Lua, os instantes do nascimento e ocaso dados nas tabelas referem-se ao aparecimento da borda superior do limbo desses astros no horizonte, ou seja, dão o instante em que o centro do Sol, ou da Lua, está meio diâmetro abaixo do horizonte, incluindo o efeito da refração atmosférica.

O *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac* [26] detalha que os horários calculados do nascer e pôr do Sol correspondem aos instantes em que o centro do Sol atinge uma distância zenital de  $90^{\circ}50'$  (dos  $50'$  adicionados aos  $90^{\circ}$ ,  $34'$  são efeito da refração e  $16'$  são o semi-diâmetro aparente do Sol).

Antes do nascer e após o pôr do Sol, o espalhamento da luz solar nas camadas superiores da atmosfera forma o crepúsculo. São definidos três tipos de crepúsculo. Após o crepúsculo civil, as estrelas mais brilhantes já se tornam visíveis. Após o crepúsculo náutico, o horizonte marítimo deixa de ser discernível. E por fim, após o crepúsculo astronômico, temos a noite escura.

	altura	dist. zenital
Fim do crepúsculo civil	$-6^{\circ}$	$96^{\circ}$
Fim do crepúsculo náutico	$-12^{\circ}$	$102^{\circ}$
Fim do crepúsculo astronômico	$-18^{\circ}$	$108^{\circ}$

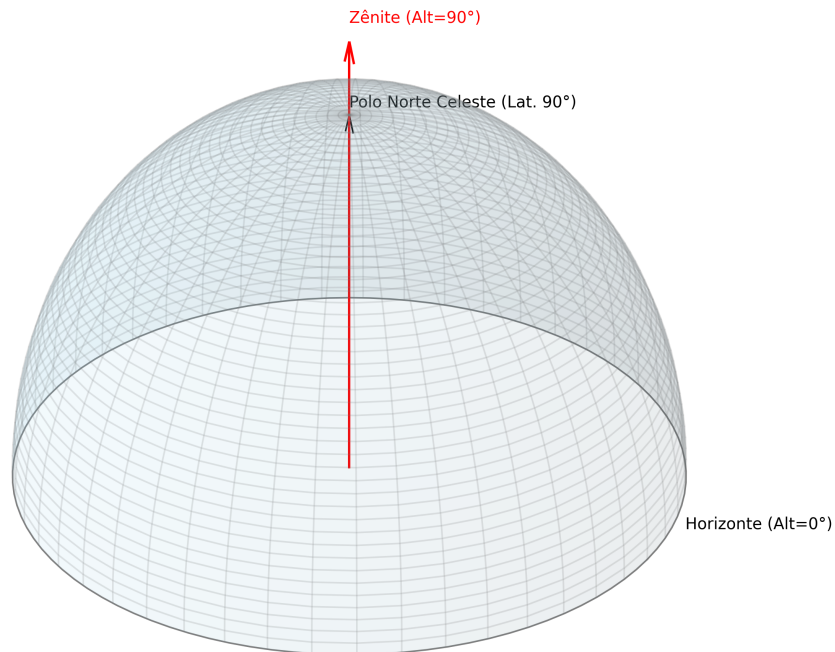
**Tabela 4.** Altura e distância zenital do Sol nos crepúsculos civil, náutico e astronômico.

A passagem meridiana ou trânsito meridiano de um astro é a passagem desse objeto pelo meridiano local do observador. Durante a passagem meridiana, o objeto atinge sua altura máxima em relação ao horizonte.

É na passagem meridiana que encontramos as melhores condições para observação de um astro, com uma menor massa atmosférica a ser atravessada por sua luz antes de atingir o instrumento de observação.

### 2.6.2 Observador no Polo Norte

Imaginemos agora um observador posicionado no polo norte terrestre (latitude  $+90^\circ$ ). Esse observador veria o PNC exatamente em seu zênite. O hemisfério celeste norte estaria sempre acima do horizonte, enquanto o hemisfério celeste sul estaria sempre abaixo do horizonte e jamais seria visível para esse observador (Fig. 36).

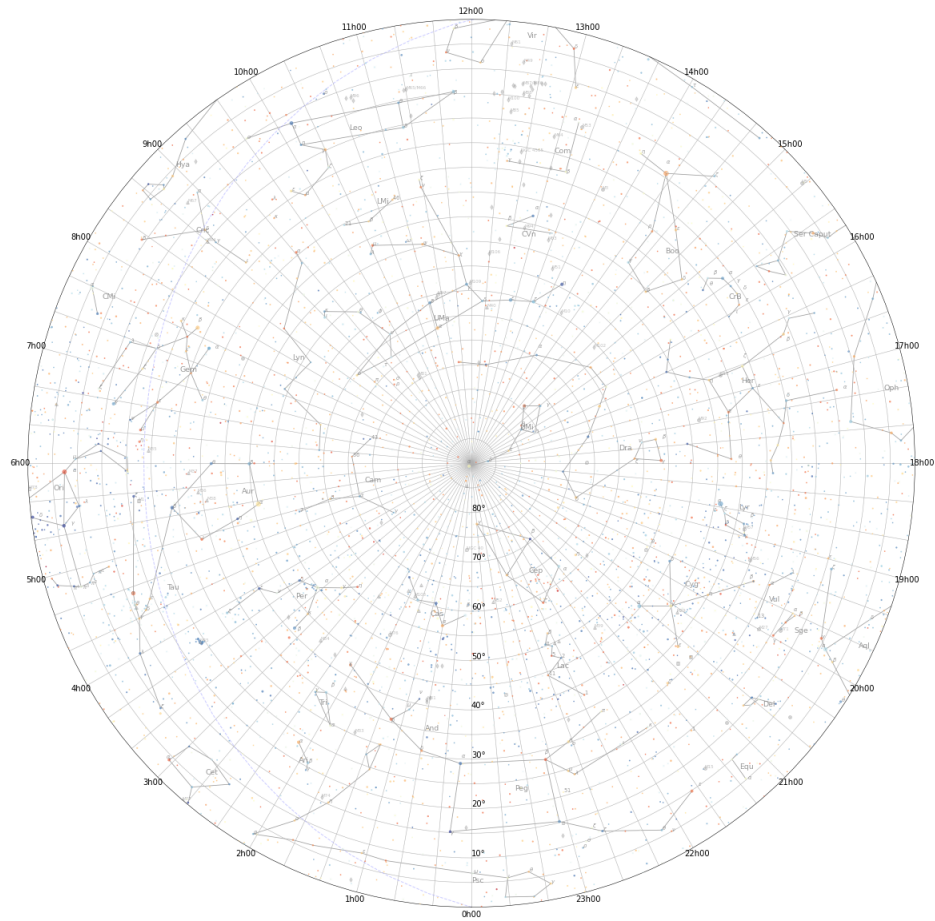


**Fig. 36.** Um observador no polo norte terrestre teria o polo norte celeste no zênite e o hemisfério norte celeste estaria sempre visível acima do horizonte.

Como consequência da rotação terrestre, esse observador veria as estrelas girando em torno do zênite, que coincidiria com o PNC. A posição da estrela *Polaris* ( $\alpha$  Ursæ Minoris), de magnitude 2, é muito próxima do PNC (Fig. 37), o que torna essa estrela uma referência importante para a navegação no hemisfério norte.

À medida que um observador se afasta do polo norte terrestre e se aproxima do equador,

verá Polaris se afastar do zênite e se aproximar do horizonte. Ou seja, a altura de Polaris<sup>53</sup> corresponde à latitude do observador no hemisfério norte.



**Fig. 37.** Hemisfério Norte Celeste. Carta plotada utilizando script Python desenvolvido pelo Projeto Céu Profundo.

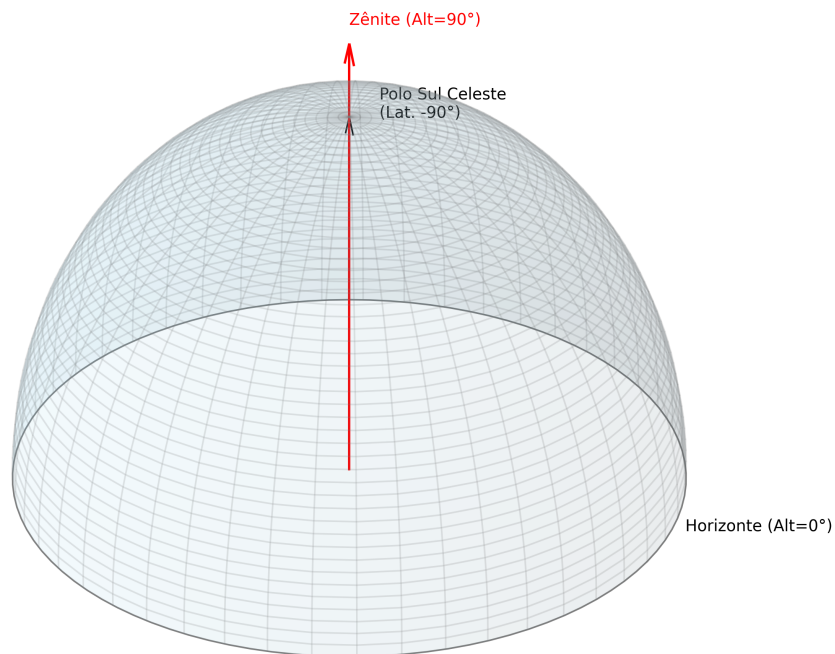
---

<sup>53</sup>Também chamada Estrela Polar.

### 2.6.3 Observador no Polo Sul

Analogamente, um observador no polo sul terrestre (latitude  $-90^\circ$ ) veria o PSC no seu zênite e o hemisfério sul celeste estaria permanentemente acima de seu horizonte (Fig. 38). O hemisfério norte celeste, por sua vez, seria inacessível para esse observador.

Assim como o observador no polo norte, o observador no polo sul terrestre veria as estrelas girando em torno do zênite, que, nesse caso, coincide com o PSC.



**Fig. 38.** Um observador no polo sul terrestre teria o polo sul celeste no zênite e o hemisfério sul celeste estaria sempre visível acima do horizonte.

Infelizmente, como vemos na Fig 39, não há uma estrela brilhante como *Polaris* tão próxima do polo sul celeste. A estrela *Sigma Octantis* ( $\sigma$  Oct), com magnitude 5,42, é a referência mais próxima do PSC, mas seu brilho é insuficiente para ser percebida em locais com interferência de poluição luminosa. E mesmo em locais escuros, ela é uma estrela tênue, no limite da visibilidade a olho nu.



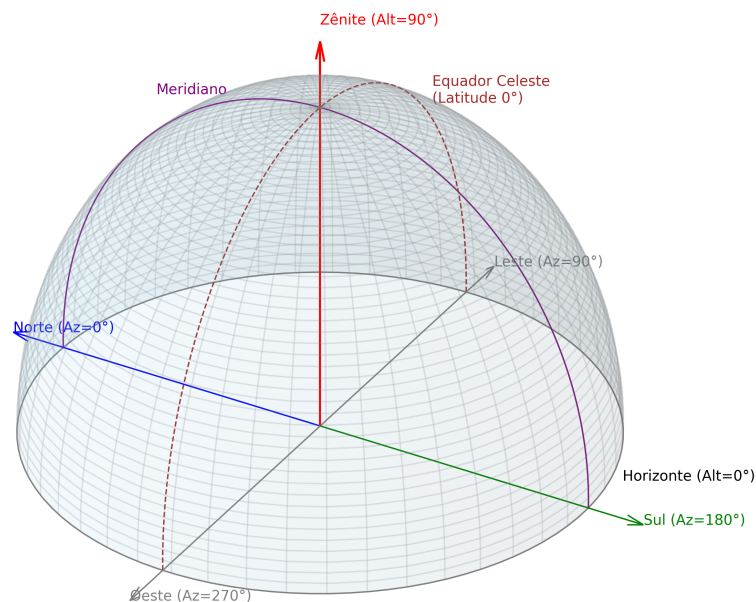
## 2.6.4 Observador no Equador

Exploramos até aqui a visão de observadores em dois pontos extremos, os polos sul e norte terrestres. Para esses observadores, o zênite coincide com um dos polos celestes e o equador celeste coincide com o horizonte. Vimos também que nos polos apenas um hemisfério celeste é observável.

Passemos agora ao caso de um observador posicionado sobre o equador terrestre.

O equador celeste corta perpendicularmente o plano do meridiano. Para um observador posicionado sobre o equador terrestre (latitude  $0^\circ$ ), o plano do equador celeste passa pelo zênite, orientado ao longo da direção leste-oeste, e o Polo Norte Celeste (PNC) e o Polo Sul Celeste (PSC) coincidem com os pontos cardeais Norte e Sul, respectivamente (Fig. 40).

A Fig. 40 mostra, para um observador na latitude  $0^\circ$  (sobre o equador terrestre), os planos do meridiano local e do equador celeste. Estes planos cruzam-se perpendicularmente no zênite do observador. O polo sul celeste e o polo norte celeste estarão na altura do horizonte e coincidirão com os pontos cardeais sul e norte, respectivamente.

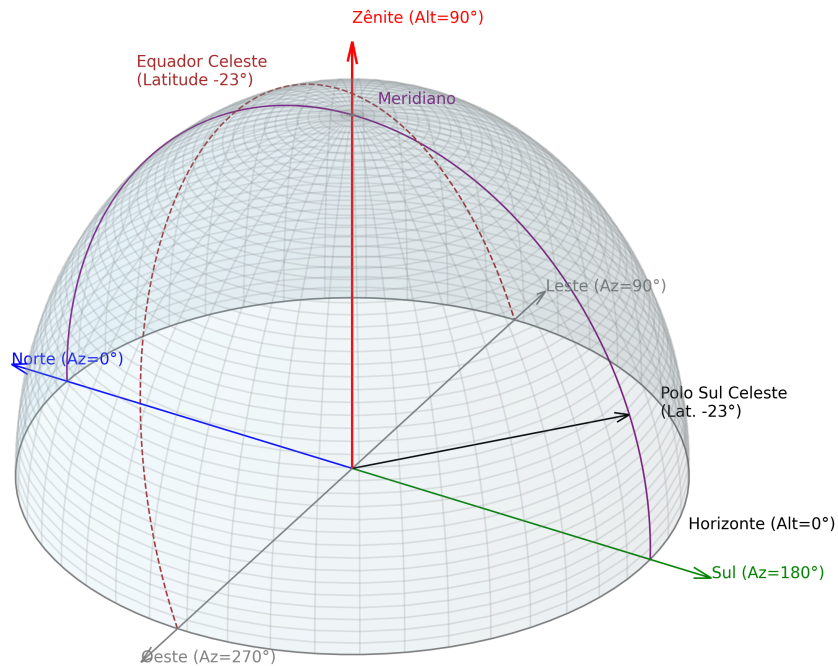


**Fig. 40.** Equador celeste e meridiano de um observador sobre a linha do equador terrestre.

### 2.6.5 Observador em uma Latitude Arbitrária

Para qualquer outro observador, fora da linha do equador, o plano do equador celeste terá uma inclinação em relação à vertical igual à latitude local. Para um observador na latitude  $23^\circ$  ao sul (latitude  $-23^\circ$ ), o plano do equador celeste estará afastado  $23^\circ$  do zênite, e o PSC estará elevado  $23^\circ$  do ponto cardeal sul (Fig. 41).

Para este observador, o PNC está  $23^\circ$  abaixo do horizonte e objetos separados até  $23^\circ$  do PNC nunca serão visíveis.



**Fig. 41.** Equador celeste, meridiano e polo sul celeste para um observador posicionado  $23^\circ$  ao sul do equador terrestre.

## 2.7 Tempo Sideral e Ângulo Horário

O Ângulo Horário Local do ponto vernal é conhecido como Hora Sideral Local e é incrementado em 24 h a cada dia sideral [26].

Para um objeto celeste  $X$  vale a relação:

$$\text{AHL } X = \text{HSL} - \text{RA } X, \quad (1)$$

## 2.8 Equação do Tempo

A diferença entre a Hora Local Média (HLM) e a Hora Solar Aparente (HSA) é conhecida como a equação do tempo.

although the equation of time used to be regarded as the correction to be applied to apparent time to obtain mean time. The principal contributions to the equation of time arise from the eccentricity of the Earth's orbit around the Sun (which causes a nonuniformity in the apparent motion of the Sun around the ecliptic) and the inclination of the plane of the ecliptic to the plane of the equator. The equation of time varies through the year in a smoothly periodic manner by up to 16 minutes, as shown in Figure 1.233.1

$$\text{HLA} = \text{HLM} + 12^h = \quad (2)$$

EM CONSTRUÇÃO - DESCULPE-NOS O TRANSTORNO.

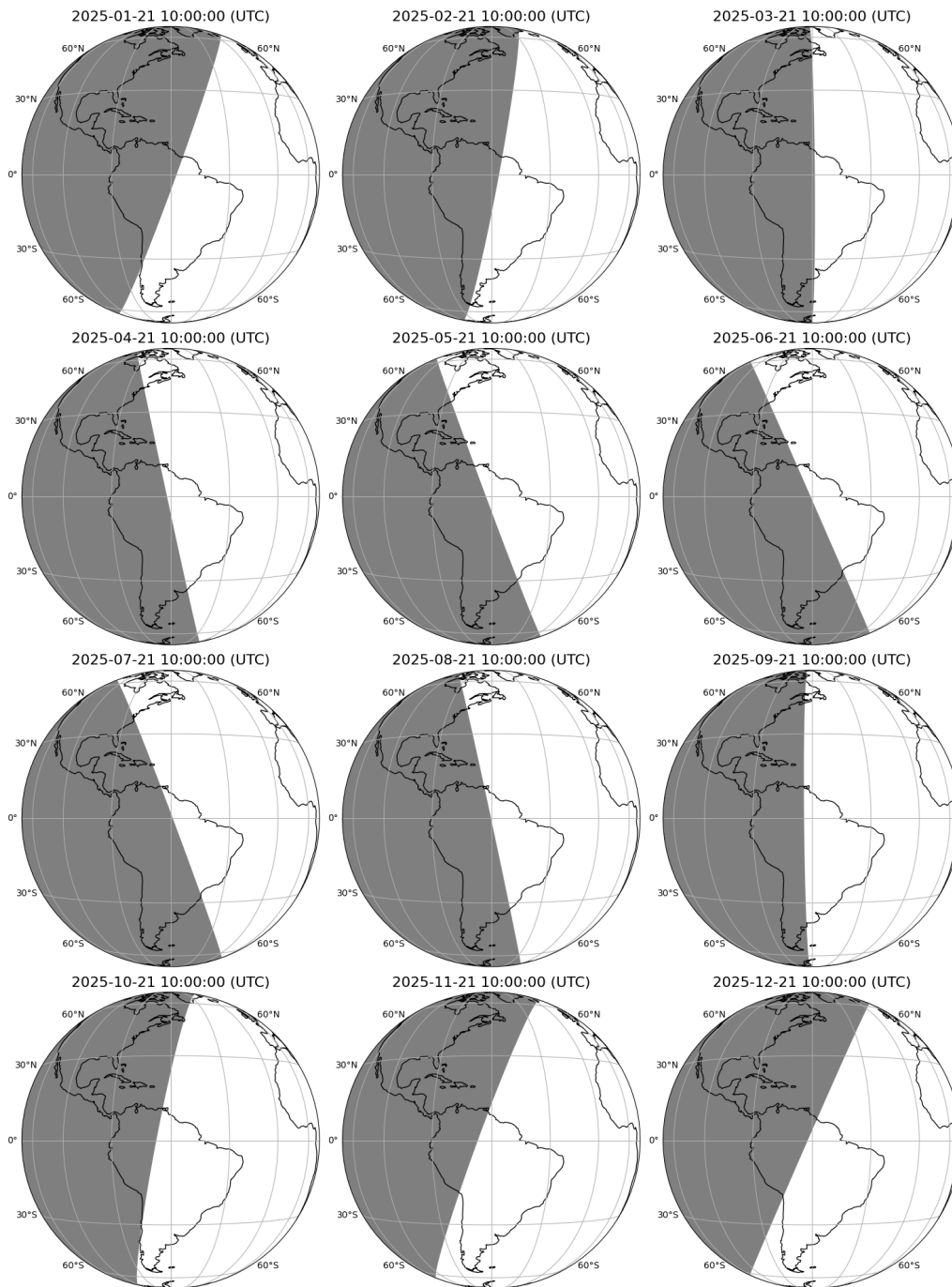
## 2.9 Coordenadas Eclípticas

A interseção do plano da órbita da Terra em torno do Sol com a esfera celeste define a *eclíptica*. Isto quer dizer que, do ponto de vista de um observador na Terra, o Sol sempre aparecerá sobre a eclíptica.

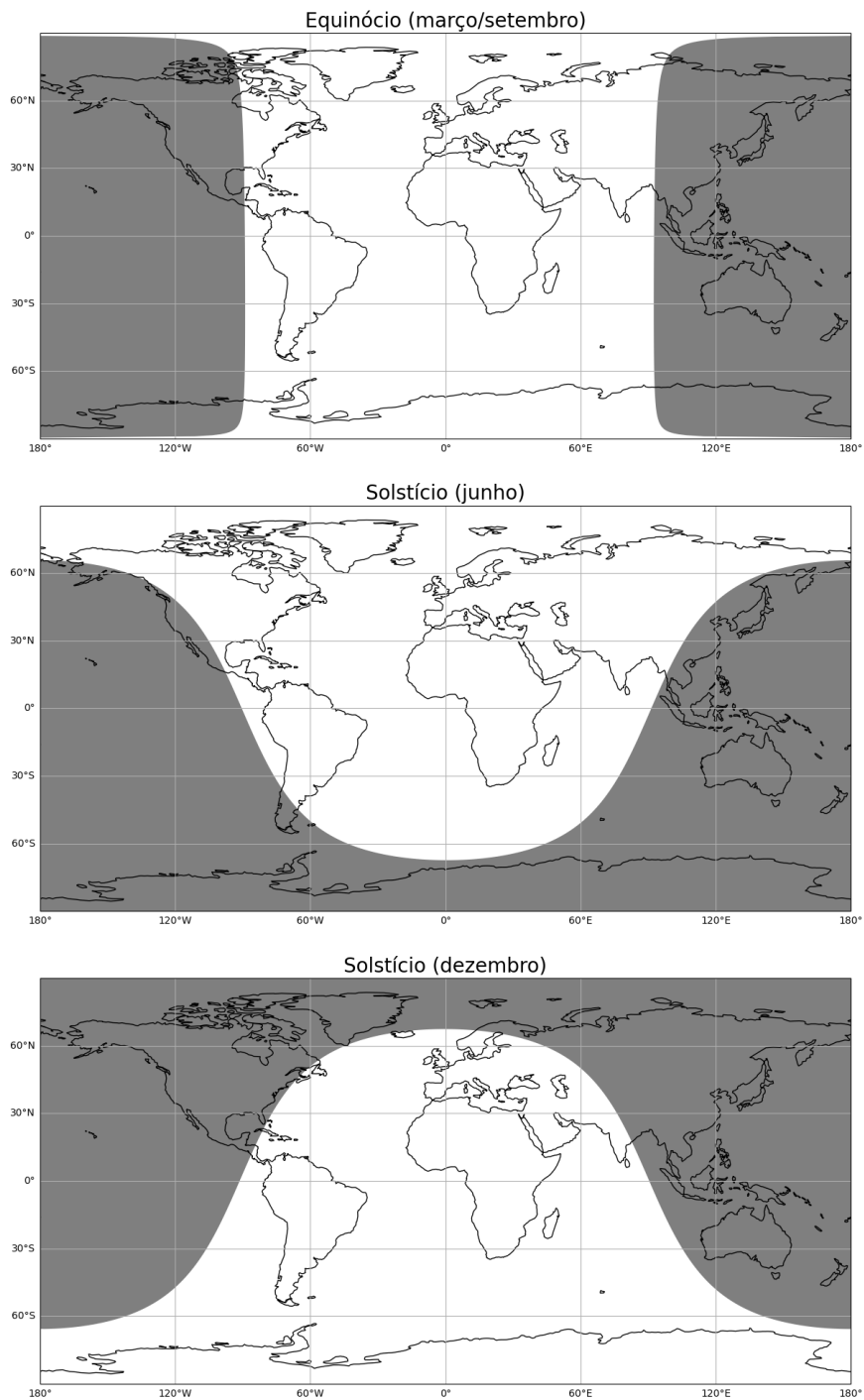
*“Another remarkable region in the heavens is the zodiac, not from any thing peculiar in its own constitution, but from its being the area within which the apparent motions of the sun, moon, and all the greater planets are confined. To trace the path of any one of these, it is only necessary to ascertain, by continued observation, its places at successive epochs, and entering these upon our map or sphere in sufficient number to form a series, not too far disjoined, to connect them by lines from point to point”*

*Jonh F. W. Herschel. Treatise on Astronomy (p. 163)*

EM CONSTRUÇÃO - DESCULPE-NOS O TRANSTORNO.



**Fig. 42.** Incidência da luz solar ao longo de um ano. Os gráficos simulam o ponto de vista de um satélite geostacionário, sobre o equador e acima do meridiano de longitude 60° oeste. Gráficos gerados com a biblioteca python Cartopy. Créditos: Wandeclyt Melo.



**Fig. 43.** Incidência da luz solar nos solstícios e nos equinócios. Gráficos gerados com a biblioteca python Cartopy. Créditos: Wandeclyt Melo.

## EM CONSTRUÇÃO - DESCULPE-NOS O TRANSTORNO.

Mapas impressos de todo o céu - planisférios - são também ferramentas poderosas. Usando esses recursos, podemos explorar o céu de diferentes localidades e em diferentes datas, prevendo os objetos que estarão visíveis e simulando sua visão através de diversos instrumentos.

Há, literalmente, um Universo inteiro para ser observado. Começando com nossa vizinha mais próxima, a Lua, passando pelo Sol, pelos planetas, planetas anões, asteroides e cometas em nosso Sistema Solar e, finalmente, chegando aos objetos de céu profundo: aglomerados estelares, nebulosas e galáxias, até o limite do que nossos instrumentos podem alcançar.

Telescópios podem descortinar um espetáculo completamente novo para nossos olhos, mas a observação com binóculos ou à vista desarmada também nos traz visões deslumbrantes. Cometas, aglomerados de estrelas, a Via Láctea, algumas nebulosas e outros objetos extensos são alvos perfeitos para os campos amplos e luminosos proporcionados por binóculos. A olho nu, conjunções entre planetas ou entre a Lua e os planetas são visões memoráveis. Mas não importa se nossa observação é munida ou não de instrumentos: é sempre necessário conhecer o céu e os objetos que se abrigam na esfera celeste.

Nos próximos capítulos, nos esforçaremos para apresentar um repertório robusto para mergulharmos em nossas observações. Apresentaremos objetos celestes, instrumentos ópticos, ferramentas computacionais e técnicas de observação. Esperamos que, ao longo da leitura, você possa experimentar na prática cada proposta de atividade apresentada. Mas esperamos ainda mais que você possa experimentar o prazer da descoberta e o fascínio pelo céu que nos motivou a escrever este texto.

### 3. Telescópios

#### 3.1 Por que Precisamos de Telescópios?

Até o século XVI, nenhum instrumento óptico havia sido utilizado para observar o céu. Eram conhecidos cinco planetas (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), mas, observados a olho nu, eram indistinguíveis das estrelas, exceto pelo seu movimento, deslocando-se entre os padrões formados pelas estrelas fixas.

Também a olho nu, conhecíamos a Via Láctea (Fig. 44), a faixa leitosa que cruza o céu com um aspecto nebuloso, mas ignorávamos que ela é, na verdade, formada por estrelas que a vista desarmada é incapaz de resolver individualmente.

A existência de estrelas duplas, aglomerados estelares, satélites em outros planetas e de um acidentado relevo na superfície da Lua estava muito além dos limites do observável.

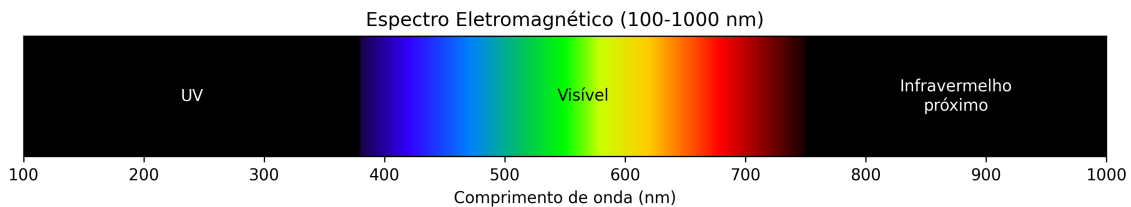


**Fig. 44.** Em condições como as encontradas no Observatório do Pico dos Dias, em Brazópolis, no sul de Minas Gerais, sob um céu escuro, preservado da poluição luminosa, a Via Láctea aparece como uma faixa brilhante cruzando o céu de inverno, facilmente vista a olho nu. Outros objetos de céu profundo como nebulosas e aglomerados estelares são também perceptíveis sem a ajuda de instrumentos. Créditos: Wandeclyt M.

Instrumentos como quadrantes, sextantes e oitantes eram utilizados pelos astrônomos para medir a posição de estrelas e outros objetos celestes, mas nenhum deles dispunha de recursos ópticos de ampliação.

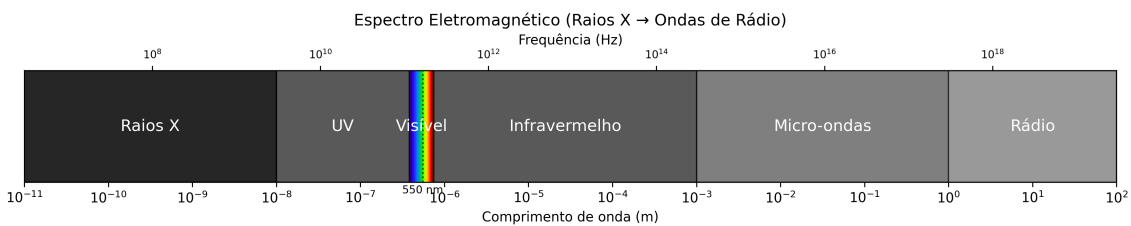
Mesmo os importantes dados de posição do planeta Marte registrados por Tycho Brahe e utilizados por Johannes Kepler para formular suas Leis do Movimento Planetário foram obtidos com observações realizadas integralmente a olho nu.

Nossos olhos, contudo, são um instrumento limitado. Primeiro, pela abertura de nossas pupilas, que atingem no máximo 7 mm de diâmetro quando completamente adaptadas à escuridão e deixam passar muito pouco da luz dos tênues objetos celestes. Segundo, pela faixa de sensibilidade de nossa visão<sup>54</sup>. Enxergamos apenas uma pequena faixa de comprimentos de onda da radiação eletromagnética, que chamamos de luz visível (Fig. 45).



**Fig. 45.** Parte do espectro eletromagnético compreendendo a faixa visível ao olho humano e as regiões do ultravioleta e do infravermelho próximo. Créditos: Wandeclyt M.

Toda a nossa percepção visual do mundo que nos cerca, a olho nu, é resumida à pouca luz que coletamos através da pequena abertura de nossas pupilas e da estreita faixa do espectro eletromagnético à qual nossos olhos são sensíveis. Objetos astronômicos, no entanto, emitem em todo o espectro eletromagnético (Fig. 46), dos raios-X e raios gama, passando pelo ultravioleta, visível e infravermelho e chegando aos comprimentos mais longos das micro-ondas e das ondas de rádio.



**Fig. 46.** Espectro eletromagnético, dos raios-X até as ondas de rádio. Créditos: Wandeclyt M.

Enxergando tão pouca luz e em uma faixa tão estreita do espectro, somos todos, exceto

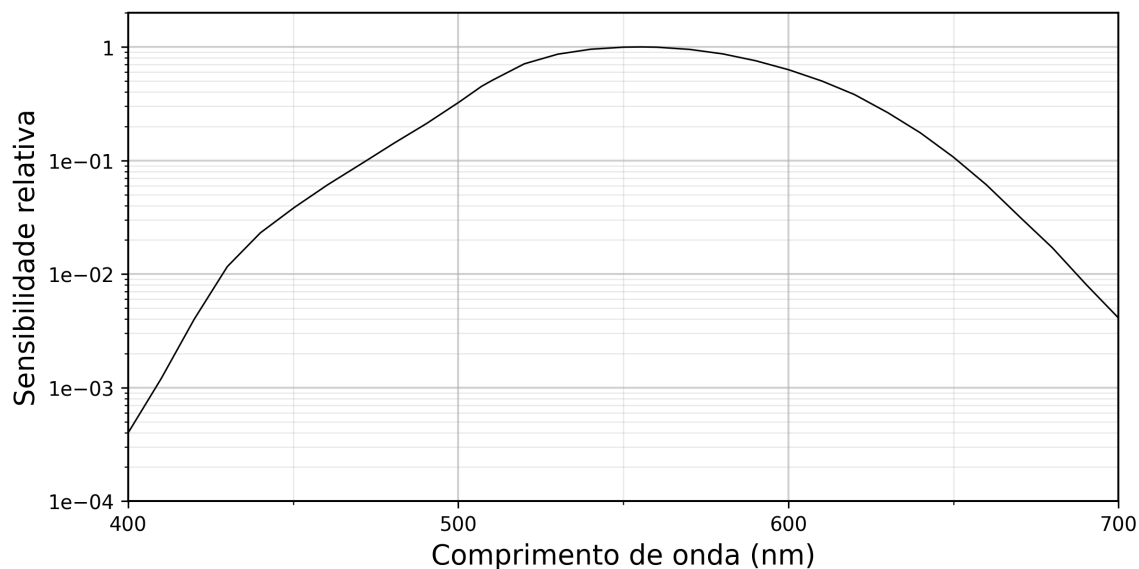
<sup>54</sup>Somos também limitados em resolução. Podemos ver a Lua, por exemplo, sem dificuldade, mas não conseguimos discernir pequenos detalhes em sua superfície. Vemos também facilmente estrelas como Alfa Centauri ou Beta Cygni, mas somos incapazes de identificar que são estrelas duplas.

por aquela pequena faixa que chamamos de luz visível, essencialmente cegos quando se trata de observar o céu.

Ainda assim, somos capazes de enxergar maravilhas astronômicas com nossos olhos.

Mesmo sem a capacidade de resolver suas estrelas individuais, podemos ver com certa facilidade as duas galáxias satélites da Via Láctea, a Pequena e a Grande Nuvem de Magalhães. Podemos identificar como pequenas manchas no céu, nebulosas como a Grande Nebulosa de Órion, a Nebulosa da Lagoa e a nebulosa na região da estrela Eta Carinae. Os aglomerados globulares mais brilhantes, como Omega Centauri, 47 Tucanae e M 13, aparecem como estrelas borradas. Cometas exibem suas caudas, muitas vezes estendendo-se por vários graus, proporcionando um espetáculo à vista desarmada. E para observar a olho nu qualquer um desses objetos, basta ter um céu escuro à disposição e conhecer sua posição.

Em condições normais de luminosidade, o pico da sensibilidade do olho humano (Fig. 47) se localiza por volta do comprimento de onda associado à cor verde (550 nm).

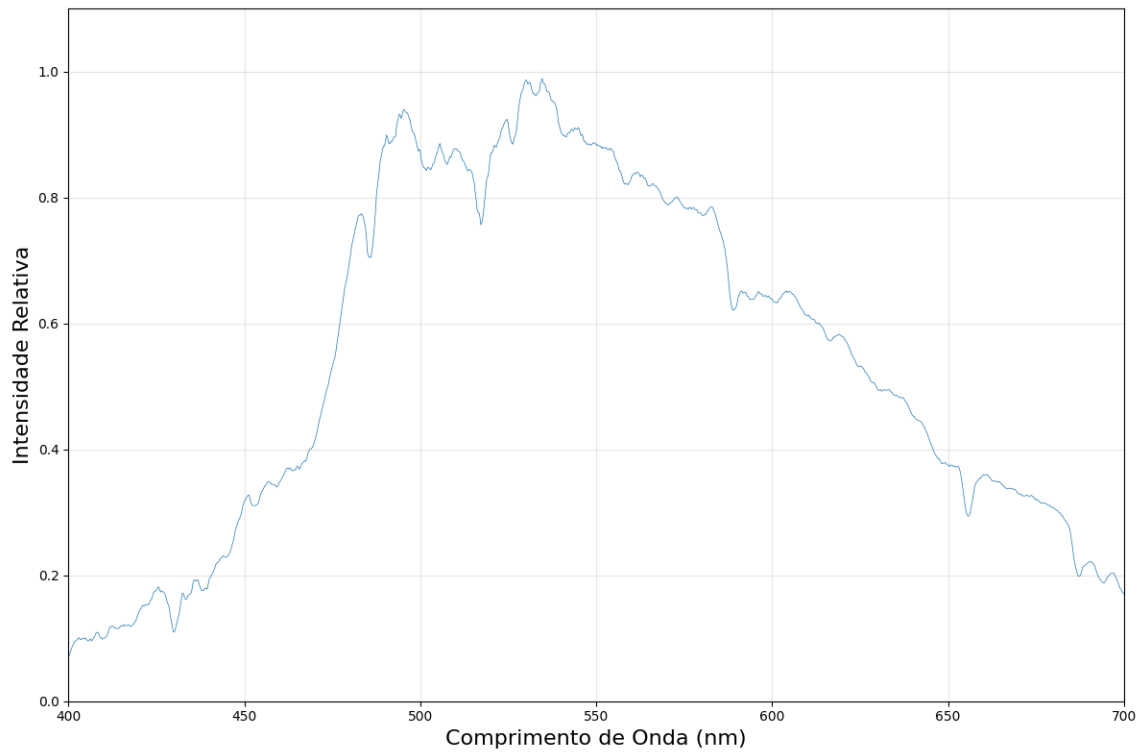


**Fig. 47.** Sensibilidade relativa do olho humano em função do comprimento de onda da luz. A região de maior sensibilidade observada na curva, em torno de 550 nm, corresponde à luz verde. Gráfico: Wandeclyat M. com dados de Warren J. Smith [1].

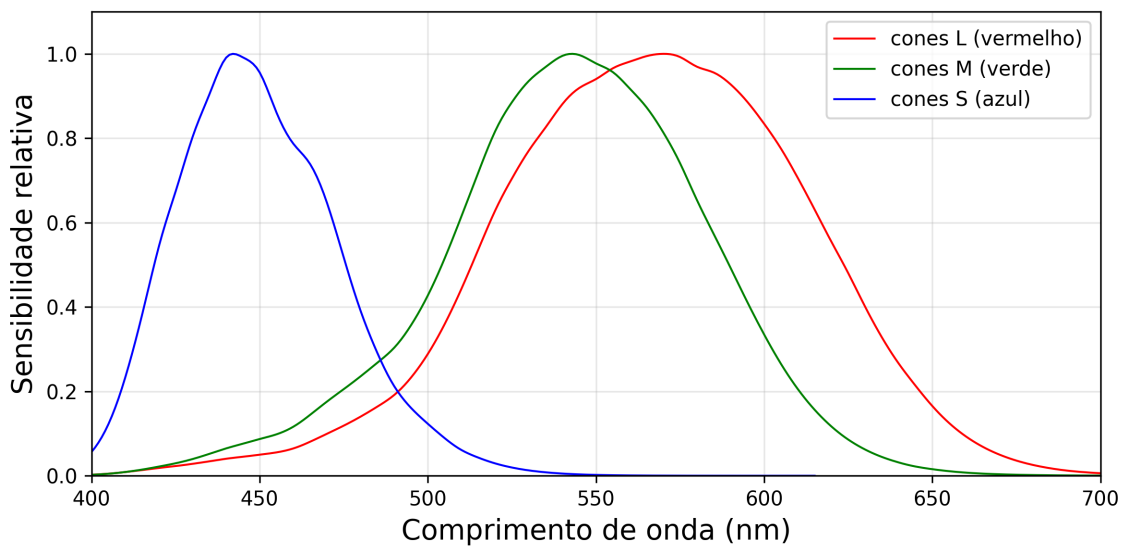
O pico de sensibilidade no gráfico da Fig. 47 coincide com o pico de intensidade na emissão do espectro solar (Fig. 48).

Nestas condições, conhecidas como “*visão fotópica*”, a luz é detectada predominantemente por células receptoras chamadas de cones. Há três tipos de cones no olho humano, cada um deles com faixas de sensibilidade diferentes, com picos de sensibilidade nas regiões do espectro correspondentes à luz azul, verde e vermelha, respectivamente (Fig. 49).

No entanto, nas condições de baixa luminosidade, esperadas para a observação astronômica noturna, os cones são pouco eficientes e um segundo grupo de células receptoras de luz entra em ação: os bastonetes.



**Fig. 48.** Espectro solar obtido com o telescópio SUNS. Dados: CRAAM/Mackenzie. Cortesia: Dr. Paulo Simões.

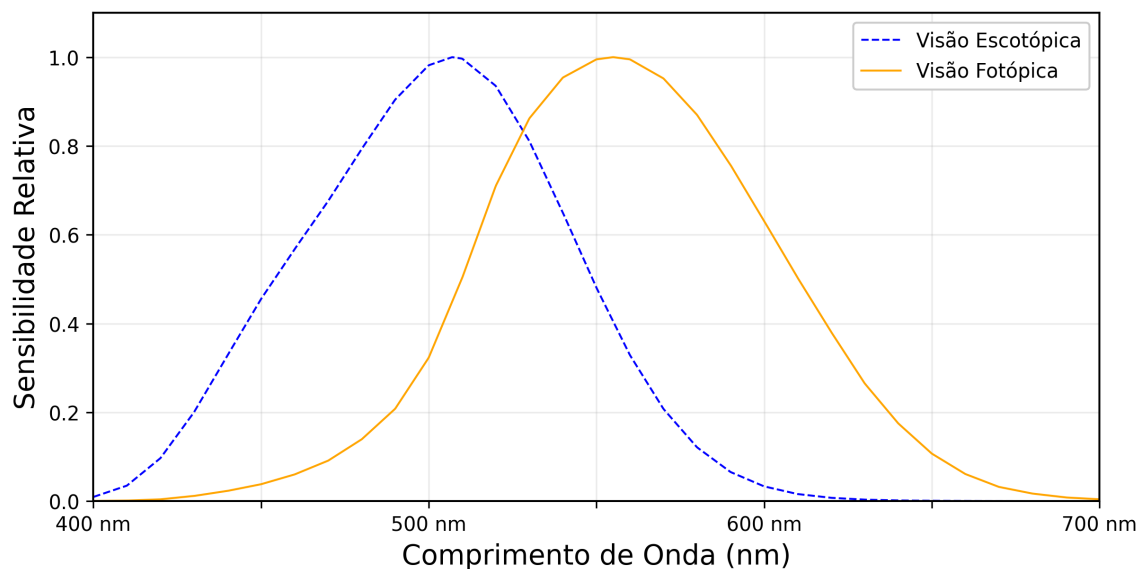


**Fig. 49.** Sensibilidade relativa dos cones azuis, verdes e vermelhos no olho humano. Gráfico: Wandeclyt M. com dados de Stockman & Sharpe[2] e [Colour & Vision Research Laboratory, University College London](#).

Enquanto os cones populam a região central da retina, os bastonetes são mais abundantes na região periférica. Os bastonetes respondem à luz de maneira diferente dos cones. Primeiro, por serem sensíveis a intensidades luminosas mais baixas. Segundo, por não serem capazes de discriminar cores. Isso significa que os objetos nebulosos de céu profundo que podem exibir cores intensas quando capturados através de câmeras astronômicas, são vistos a olho nu ou através da ocular do telescópio como manchas acinzentadas.

A sensibilidade relativa da visão em condições de baixa luminosidade, utilizando os bastonetes (visão escotópica), também tem seu pico numa posição do espectro diferente do pico da visão em condição de iluminação diurna, usando os cones (visão fotópica).

Os bastonetes possuem seu pico de sensibilidade deslocado em direção aos comprimentos de onda mais curtos e são incapazes de detectar os comprimentos de onda mais longos, na região vermelha do espectro (Fig. 50).



**Fig. 50.** Curvas de sensibilidade relativa das visões fotópica e escotópica. Na visão escotópica (adaptada ao escuro), o pico de sensibilidade se desloca em direção aos comprimentos de onda mais curtos. Gráfico: Wandeclyt M. com dados de Warren J. Smith [1]

Por esse motivo, lâmpadas vermelhas são empregadas na iluminação de observatórios, e astrônomos amadores e astrofotógrafos utilizam lanternas vermelhas em campo (Fig. 51) quando alguma luz artificial é necessária (para leitura de mapas ou montagem de equipamentos, por exemplo). Os bastonetes são insensíveis à luz vermelha, que só é percebida pelos cones, na região central da retina. Assim, sob luz vermelha, os bastonetes permanecem adaptados ao escuro e garantem uma melhor percepção de objetos de brilho fraco na ocular do telescópio.



**Fig. 51.** Durante observação visual, o uso de iluminação vermelha é uma forma de preservar a adaptação da visão à escuridão. Foto: Wandeclyt M./Projeto Céu Profundo.

Preservar a adaptação ao escuro é uma parte importante do ritual a ser seguido em uma sessão de observação, seja ela a olho nu, com binóculos ou telescópios. Evite olhar para fontes de luz branca ou telas. Tipicamente, pode-se levar até meia hora para adaptar completamente os olhos à escuridão. Perder essa adaptação olhando para a tela de um celular durante uma sessão de observação pode arruinar completamente sua experiência, mesmo que você esteja sob um céu espetacularmente escuro.

Em ambientes com mais observadores, lembre-se que a luz de sua tela ou de sua lanterna branca afetará também a visão de seus companheiros de observação. Evite a todo custo usar luzes desnecessárias.

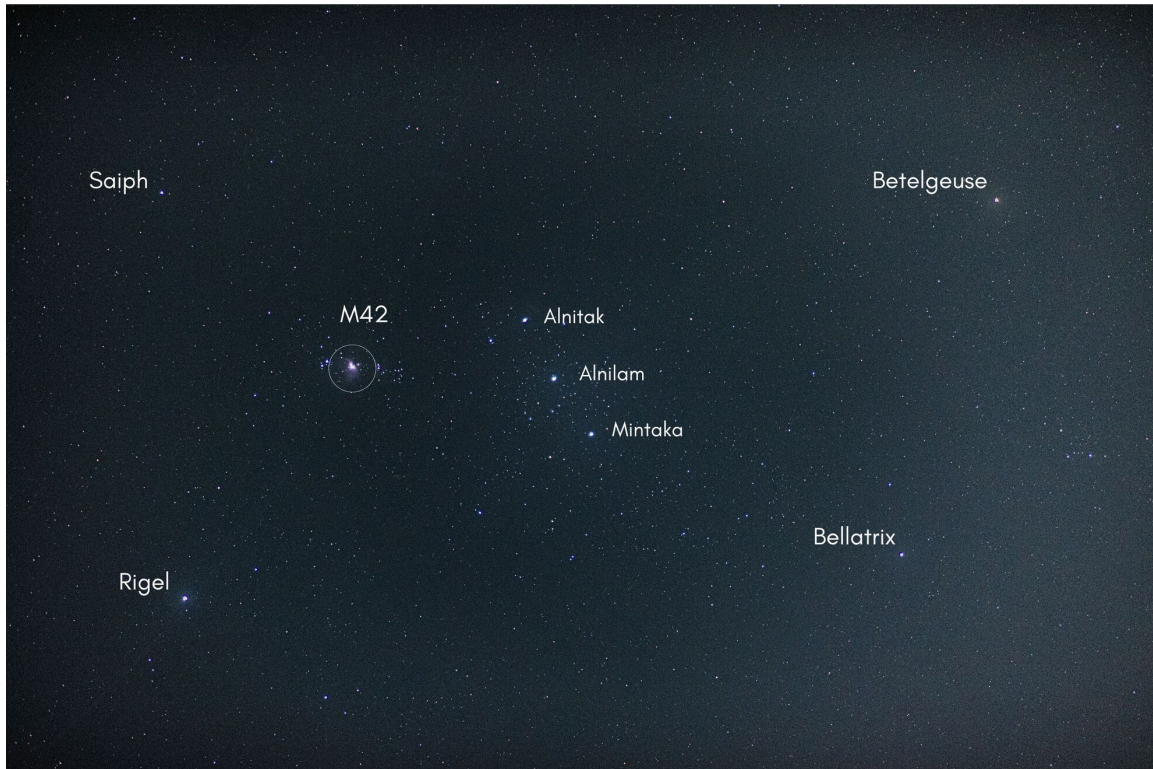
Aplicativos para computadores e dispositivos móveis utilizados durante observações astronômicas também costumam implementar um modo noturno, com tela predominantemente vermelha.

Tudo isso tem como objetivo garantir que a adaptação de nossos olhos à escuridão não seja perdida durante uma sessão de observação noturna.

A predominância dos bastonetes na região periférica da retina nos leva a adotar uma importante técnica na observação visual: o uso da visão periférica. Para perceber melhor objetos de brilho fraco ou difuso, não olhamos diretamente para eles. Desviamos o olhar para uma região próxima, e com a borda da visão, usando os bastonetes, vemos o objeto com mais facilidade.

A constelação de Órion abriga uma brilhante nebulosa visível a olho nu. A posição da Grande Nebulosa de Órion (M42) está identificada na Fig. 52. Para observar M42

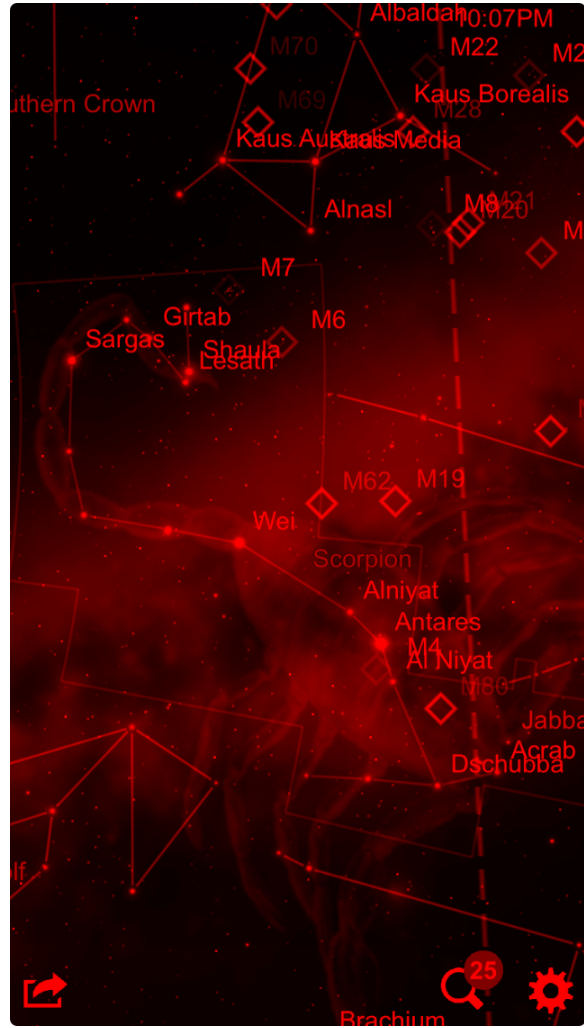
a olho nu, não olhamos diretamente para ela. Em vez disso, direcionamos o olhar para uma estrela próxima, como Rigel, Saiph, ou uma das “*Três Marias*” (Alnitak, Anilam, Mintaka). Ao desviar o olhar para uma estrela próxima, a nebulosa entra no campo de nossa visão periférica, onde predominam os bastonetes, e parece mais brilhante.



**Fig. 52.** Região da constelação de Orion, com indicação da posição da nebulosa M42 e de suas principais estrelas. Créditos: Wandeclyt M.

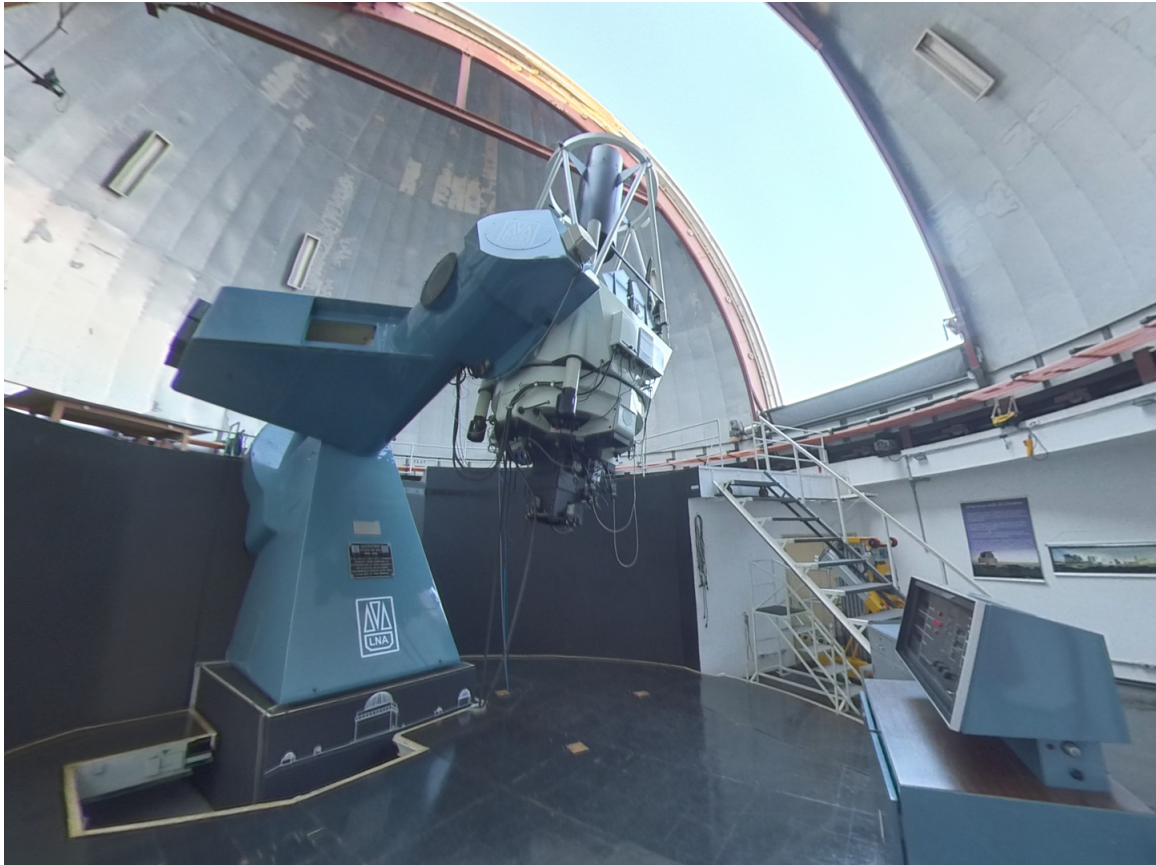
Treine esta técnica sob um céu escuro numa noite sem nuvens, após permanecer ao menos 15 minutos na escuridão, adaptando a visão ao escuro. Utilize uma carta celeste impressa (lembre-se de não usar luz branca) ou um aplicativo de reconhecimento de céu com a tela em modo noturno (Fig. 53).

Esta técnica também é válida nas observações através de binóculos ou da ocular do telescópio. Ao observar objetos de céu profundo mais desafiadores, como certas nebulosas e galáxias, pode ser preciso olhar para a borda da imagem na ocular, para assim perceber melhor o fraco objeto que esteja enquadrado no centro da imagem.



**Fig. 53.** Tela vermelha no modo noturno do aplicativo Star Chart. Aplicativos com uso em astronomia costumam implementar um modo noturno para preservar a adaptação visual ao escuro.

Foi somente em 1609 que Galileu Galilei inaugurou uma nova era na astronomia observacional, apontando para o céu uma luneta capaz de ampliar imagens e de captar mais luz do que o olho humano.



**Fig. 54.** Telescópio Perkin-Elmer de 1,60 m de diâmetro no Observatório do Pico dos Dias (OPD) em Brazópolis - MG. Este é o maior telescópio em solo brasileiro. Créditos: Wandeclyt Melo.

Possuindo uma abertura substancialmente maior que a de nossas pupilas, o telescópio de Galileu permitiu-lhe enxergar fontes pouco brilhantes e separar objetos que a olho nu aparecem como um só.

Em suas observações, ele identificou pela primeira vez satélites orbitando o planeta Júpiter e registrou estruturas inesperadas no planeta Saturno (Galileu representou Saturno em seus desenhos com alças ou orelhas unidas ao planeta).

Nos mais de 4 séculos desde as primeiras observações de Galileu, a tecnologia de construção de telescópios nos levou de uma luneta com poucos centímetros de diâmetro até grandes telescópios refletores com dezenas de metros de abertura.

Essa busca por instrumentos cada vez maiores tem um motivo muito claro: quando o assunto é óptica, tamanho é documento. Diâmetros maiores significam que objetos cada vez menos luminosos podem ser observados e que maiores resoluções podem ser atingidas.

### 3.2 Resolução

A abertura (ou diâmetro) da objetiva<sup>55</sup> é o principal parâmetro para caracterizar um telescópio. Esse valor nos informa quanta luz o instrumento é capaz de captar e a sua resolução.

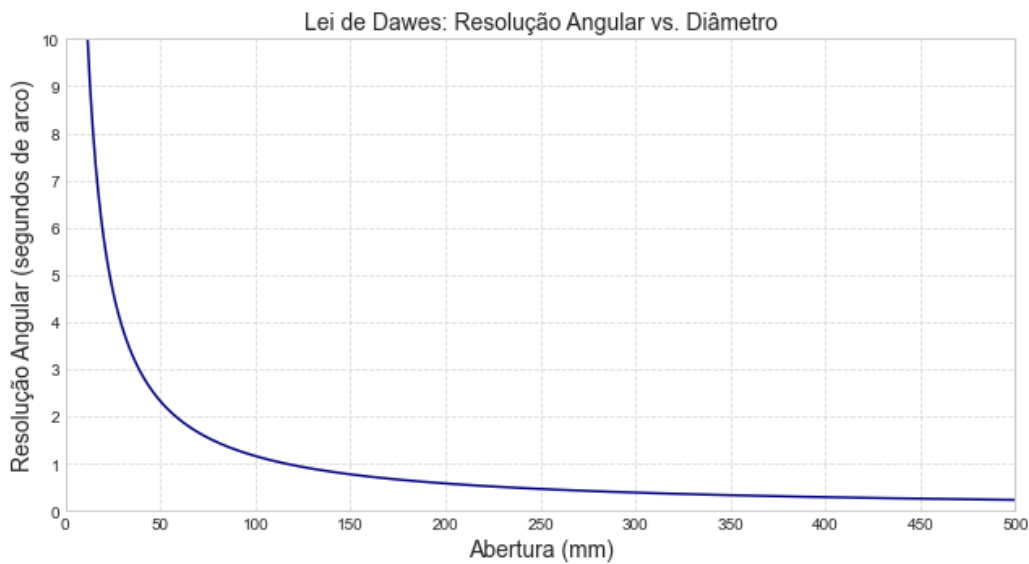
A resolução é a capacidade de resolver<sup>56</sup> como objetos distintos duas fontes pontuais que se encontrem muito próximas uma da outra e depende também do comprimento de onda (ou cor) da luz observada.

O astrônomo William Rutter Dawes (1799-1868), no séc. XIX, estabeleceu uma relação empírica para a resolução óptica de um telescópio, conhecida hoje como Lei de Dawes:

$$\theta = \frac{116}{D}, \quad (3)$$

Onde  $\theta$  é a resolução em segundos de arco<sup>57</sup> e  $D$  é a abertura do telescópio em mm.

O gráfico da Fig. 55 mostra como a resolução varia com a abertura (diâmetro) do telescópio de acordo com a lei de Dawes.



**Fig. 55.** Lei de Dawes: Abertura x Resolução. Créditos: Wandeclyt Melo.

Em resumo: telescópios com aberturas maiores são capazes de separar objetos mais

<sup>55</sup>A objetiva é o principal componente óptico do telescópio. É o espelho ou lente que capta a luz do objeto. No outro extremo do telescópio temos a ocular, o componente responsável por ampliar e formar a imagem. É onde colocamos nosso olho durante a observação.

<sup>56</sup>Em óptica, e consequentemente em Astronomia, usamos a palavra resolver com o sentido de separar, ou distinguir.

<sup>57</sup>O segundo de arco (") é uma medida de ângulo. 1 grau equivale em 60 minutos de arco ( $1^\circ = 60'$ ) e 1 minuto de arco equivale a 60 segundos de arco ( $1' = 60''$ ), logo, 1 grau equivale a 3600 segundos de arco ( $1^\circ = 3600''$ ). Ao longo do texto o uso de graus, minutos e segundos de arco para indicar o tamanho aparente ou a separação entre objetos celestes será comum.

próximos, como fica evidente no gráfico. Além disso, telescópios maiores formam imagens menores das estrelas. E isso é bom!

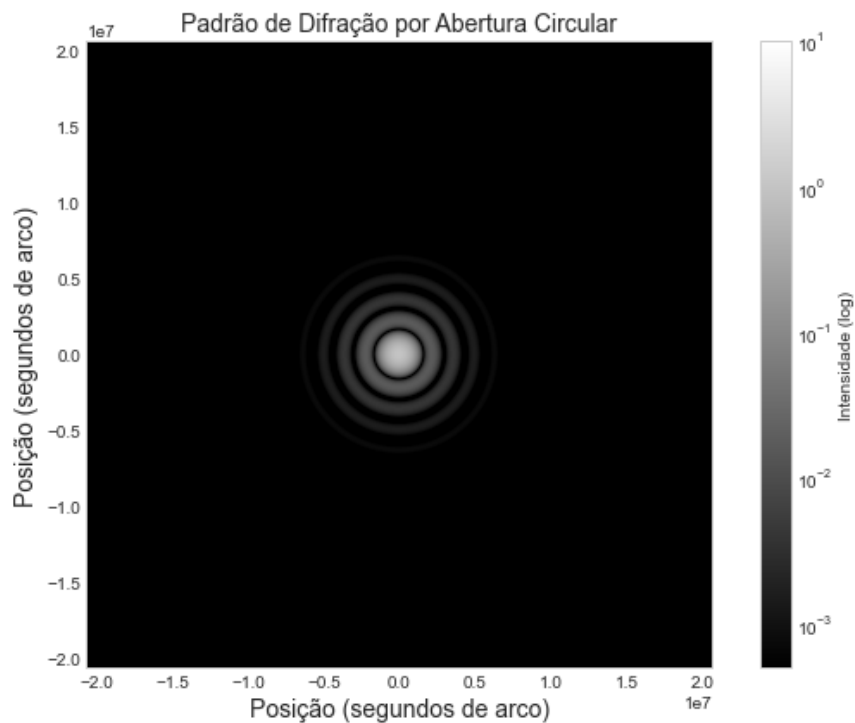
As estrelas estão tão distantes que se apresentam como fontes pontuais. No entanto, a imagem formada pelos telescópios não é um ponto[31].

A frente da onda luminosa sofre desvios ao atravessar a abertura circular do telescópio, formando no plano focal uma região circular conhecida como disco de Airy<sup>58</sup>[32], cercada por anéis concêntricos de brilho sucessivamente menor.

De maneira mais simples: uma estrela aparece ao telescópio não como um ponto, mas como um borrão circular. Esse borrão possui uma região central mais brilhante, envolvida por anéis mais apagados. Esse borrão diminuirá, melhorando a definição da imagem, à medida que o diâmetro do telescópio aumenta.

Ou seja, quanto maior o telescópio, menores as estrelas aparecerão na imagem formada. E é isso que desejamos: estrelas com imagens menores, para que possamos resolvê-las individualmente.

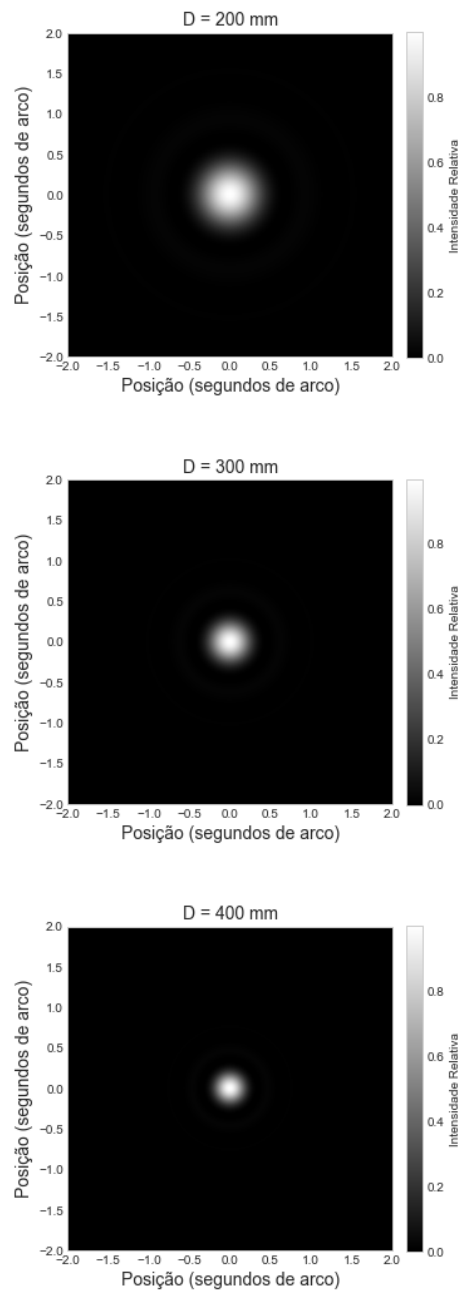
A Fig. 56 simula o padrão de difração criado por uma abertura circular, similar a uma estrela observada ao telescópio, empregando grandes aumentos e em uma noite com atmosfera calma.



**Fig. 56.** Simulação do padrão de difração de Airy em um telescópio de 200 mm. A escala de intensidade é logarítmica, para realçar os anéis concêntricos. Créditos: Wandeclyt Melo.

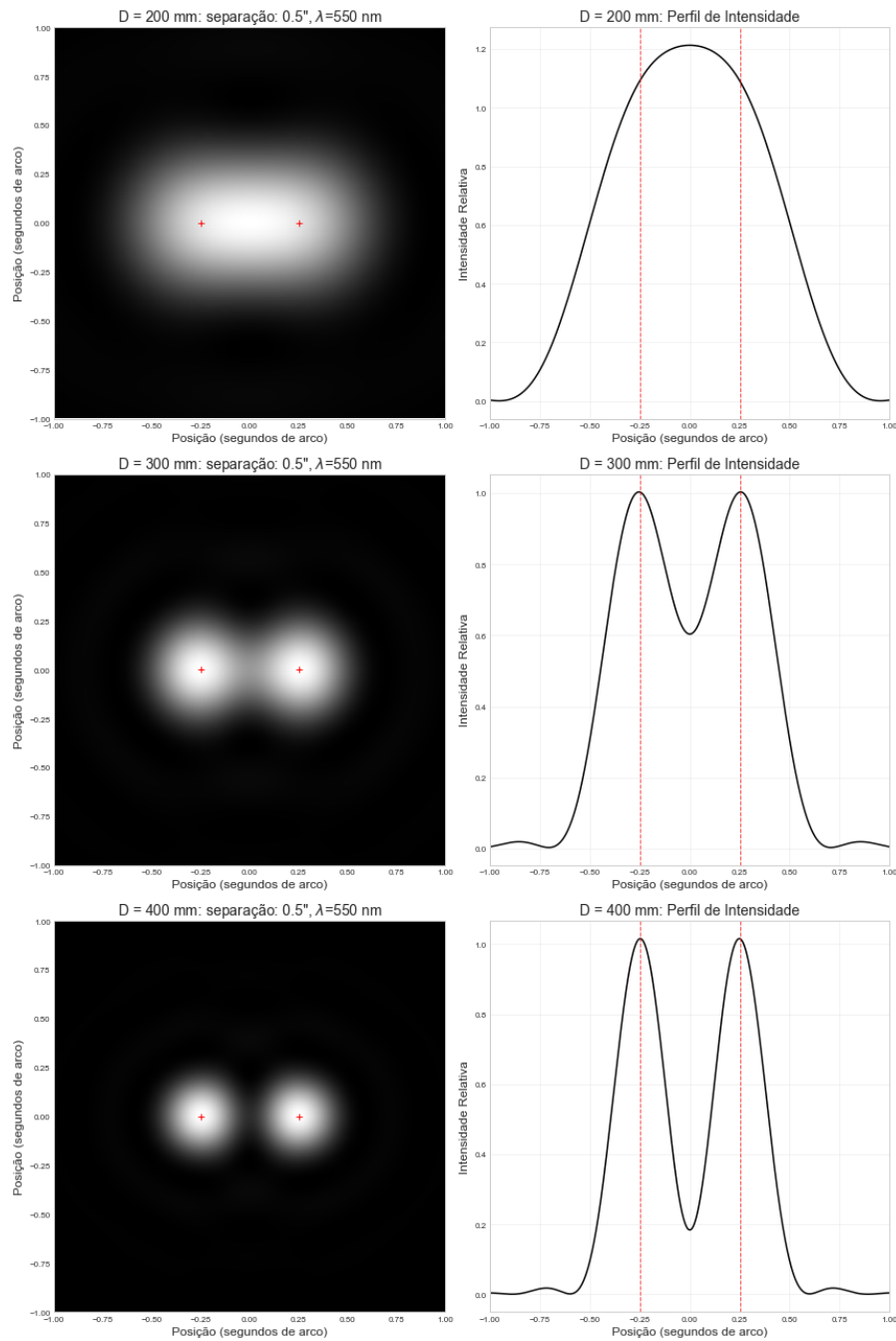
<sup>58</sup>Em homenagem ao matemático e astrônomo real britânico George Biddell Airy (1801-1892)

Mesmo com aumentos moderados, as imagens das estrelas são difusas. No entanto, como seria de se esperar, uma estrela observada com o mesmo aumento em telescópios de diferentes diâmetros apresentará um perfil de intensidade mais concentrado - ou seja, parecerá menor, embora mais brilhante - no telescópio de maior diâmetro. Este efeito está ilustrado nas simulações apresentadas na Fig. 57.



**Fig. 57.** Simulação da imagem de uma estrela observada com o mesmo aumento em telescópios de diferentes aberturas. Créditos: Wandeclyt Melo.

A resolução dos telescópios é um parâmetro importante para a observação de estrelas duplas. Na Fig. 58 simulamos duas estrelas com separação de 0,5 segundos de arco entre si, observadas com o mesmo aumento, em telescópios de 200 mm, 300 mm e 400 mm de diâmetro.



**Fig. 58.** Simulação da resolução de telescópios com aberturas de 200 mm, 300 mm e 400 mm ao observar duas estrelas com separação de 0,5 segundos de arco. Créditos: Wandeclyt Melo.

Na Fig. 58 as cruces vermelhas marcam a posição das estrelas no campo. A separação de 0,5 segundos de arco é aproximadamente 3600 vezes menor que o diâmetro aparente da Lua Cheia. Utilizando o telescópio de 200 mm de abertura, a imagem das estrelas se funde. Empregando o mesmo aumento, com o telescópio de 300 mm conseguimos identificar que se tratam de duas estrelas. Ainda com o mesmo aumento, no telescópio de 400 mm, as estrelas estão perfeitamente resolvidas individualmente.

A simulação é consistente com os resultados da Eq. 3 para os diâmetros apresentados:

**Tabela 5.** Resolução angular de acordo com a Lei de Dawes

Abertura (Diâmetro $\varnothing$ )	Resolução (segundos de arco)	Estrelas resolvidas a 0,5 segundos de arco
200 mm	0,58	Não
300 mm	0,39	Sim
400 mm	0,29	Sim

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

As simulações anteriores consideram telescópios com uma óptica perfeita, livre de aberrações, com resolução limitada apenas pelo efeito de difração da luz pela abertura do telescópio.

Na prática, outros efeitos, sobretudo sob grandes ampliações, degradam o desempenho do telescópio, reduzindo sua resolução e fazendo com que as estrelas apareçam nas imagem bem maiores que as simuladas considerando o limite de difração.

Um efeito externo com grande impacto na resolução em imagens astronômicas tem origem na turbulência da atmosfera. Esse efeito, que percebemos a olho nu como a cintilação das estrelas, produz imagens “alargadas” das estrelas. Chamamos esse efeito de “*seeing*”.

É possível avaliar as condições do *seeing* a olho nu a partir da frequência e intensidade da cintilação das estrelas. Numa noite de atmosfera calma, apenas as estrelas mais próximas do horizonte cintilarão de maneira mais rápida e intensa. Sob condições mais turbulentas, mesmo as estrelas mais altas, próximas ao zênite<sup>59</sup>, podem cintilar.

### 3.3 Aumento

Além da capacidade de separar (resolver) objetos próximos, telescópios podem magnificar a imagem dos objetos. Dentro dos limites de resolução, podemos obter imagens que detalham a superfície de planetas e da Lua ou que revelam estruturas de objetos de céu profundo, como braços de galáxias ou regiões contrastantes em nebulosas.

É normal, quando temos o primeiro contato com instrumentos astronômicos, buscar os maiores aumentos disponíveis. E é ainda mais normal que essa busca resulte em frustração.

Grandes aumentos frequentemente extrapolam os limites de resolução do instrumento, produzindo imagens sem nitidez e evidenciando defeitos da óptica e o efeito do *seeing*.

<sup>59</sup>O zênite é o ponto acima da cabeça do observador.

Uma regra prática é usar aumentos que correspondam, no máximo, à abertura do instrumento em milímetros.

Podemos calcular o aumento, conhecidas as distâncias focais do telescópio e da ocular, usando a Eq. (4) [33, 34]:

$$\text{Aumento} = \frac{F_{(\text{telescópio})}}{F_{(\text{ocular})}} \quad (4)$$

De onde vemos que oculares com distâncias focais mais curtas proporcionam maiores ampliações.

Como a distância focal da objetiva é fixa, controlamos o aumento através da substituição das oculares.

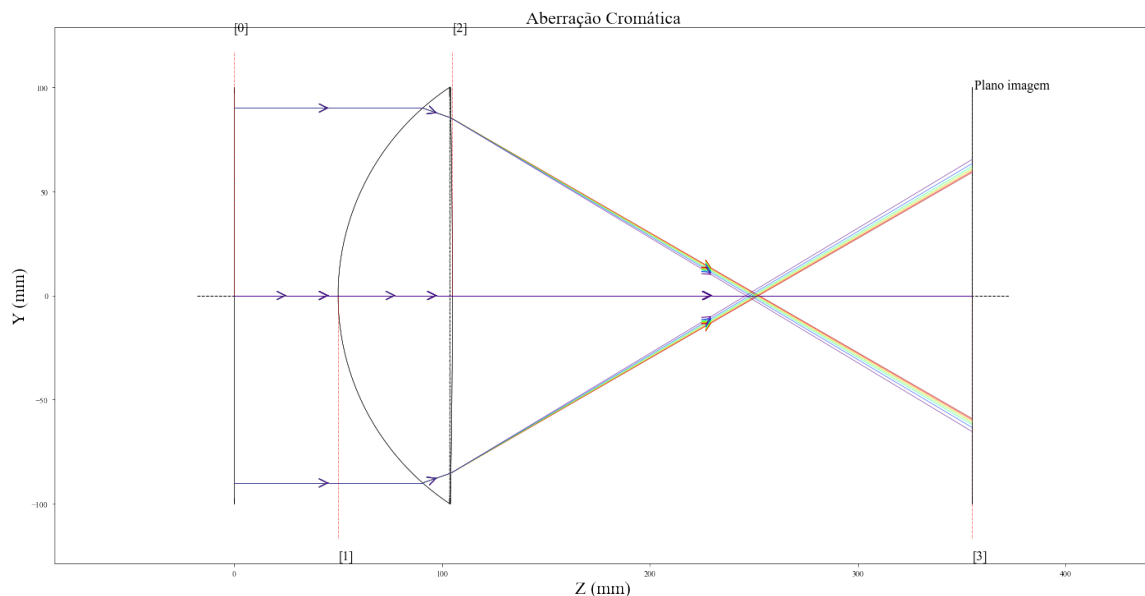
### 3.4 Refratores

A luneta de Galileu era um telescópio que utilizava somente lentes em sua construção. Telescópios que utilizam apenas lentes são chamados de refratores e são sinônimos de luneta. Como seu nome sugere, estes telescópios baseiam-se na refração da luz ao cruzar a interface entre dois meios de propagação, como o ar e o vidro.

A velocidade de propagação da luz no ar é de aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s. Esta velocidade é diferente (mais baixa) em outros meios de propagação, como o vidro usado na construção de lentes.

Ao cruzar a interface entre esses meios, a luz é desviada em sua direção de propagação. Esta mudança na geometria dos raios é o que chamamos de refração e é ela a responsável pelos efeitos de ampliação e de concentração de luz que buscamos nos telescópios. No entanto, comprimentos de onda (cores) diferentes sofrem desvios diferentes. Introduzindo uma dispersão nas cores observadas. Chamamos esse defeito na formação da imagem de aberração cromática.

A Fig. 59 ilustra como uma lente tem pontos focais diferentes para luz de comprimentos de onda diferentes. Os raios de luz branca (contendo todas as cores) de uma fonte no infinito chegam paralelos pelo lado esquerdo da imagem e são desviados ao atravessar a lente. Cada cor converge para um ponto distinto e a imagem produzida possui uma aura colorida. A cor azul é mais desviada e tem seu foco mais próximo à lente. A cor vermelha sofre um desvio menor e tem seu foco em um ponto mais afastado.

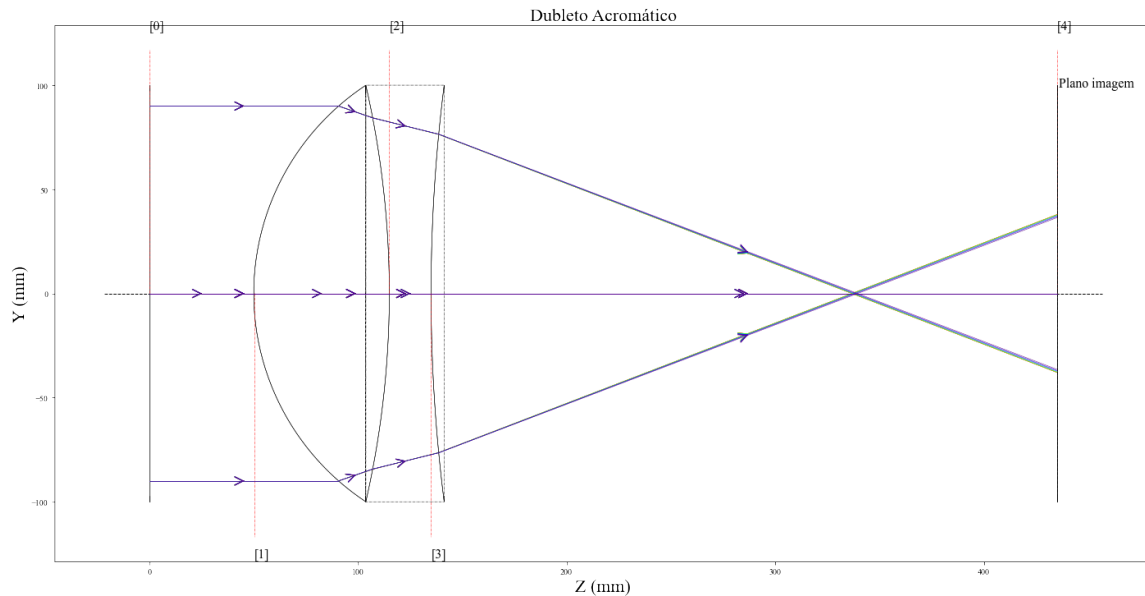


**Fig. 59.** Aberração cromática em uma lente simples (singleto). Diagrama: Wandeclyt Melo.

A aberração cromática é um defeito que acomete todos os sistemas que usem lentes (telescópios refratores, binóculos, oculares) e exige o uso de mais elementos ópticos para

minimizá-lo, empregando em vez de uma única lente (singlete), como mostrado no diagrama da Fig. 59, conjuntos com duas (dubleto) ou três (tripletos) lentes.

O arranjo mostrado na Fig. 60 é um dubleto acromático. Este arranjo é otimizado para que a luz vermelha e a luz azul tenham o mesmo ponto focal. Neste arranjo, a objetiva tem duas componentes. A segunda lente (bicôncava) compensa a dispersão de cores da primeira lente (biconvexa).



**Fig. 60.** Dubleto Acromático

O dubleto acromático é uma solução criada por Chester Moor Hall [35], no Séc. XVIII, para o problema da aberração cromática que limitava o diâmetro das lentes usadas nos telescópios refratores. Além da geometria diferente, os elementos do dubleto também usam vidros diferentes, combinando o vidro comum do tipo *crown* com vidro do tipo *flint* que possui óxido de chumbo em sua composição.

Embora a configuração acromática seja um grande avanço em relação ao singlete, trazendo a luz azul e a luz vermelha para o mesmo foco, ainda há uma aberração residual, correspondendo à diferença entre esse foco e o da luz verde. Um arranjo mais complexo, envolvendo três lentes e que traz uma melhora significativa em comparação com o **dubleto acromático** é o **triplete apocromático**.

Esse aumento na complexidade das lentes e o conseqüente ganho na qualidade de imagem explicam a diferença de preço entre os pequenos e baratos refratores encontrados em lojas de departamento e os refratores acromáticos e apocromáticos de maior desempenho.

A Fig. 62 mostra um telescópio refrator moderno, com 120 mm de abertura.

Os telescópios refratores não possuem nenhuma obstrução central na área de coleta de luz e tendem a produzir imagens mais luminosas e contrastadas em comparação com refletores de mesmo diâmetro.

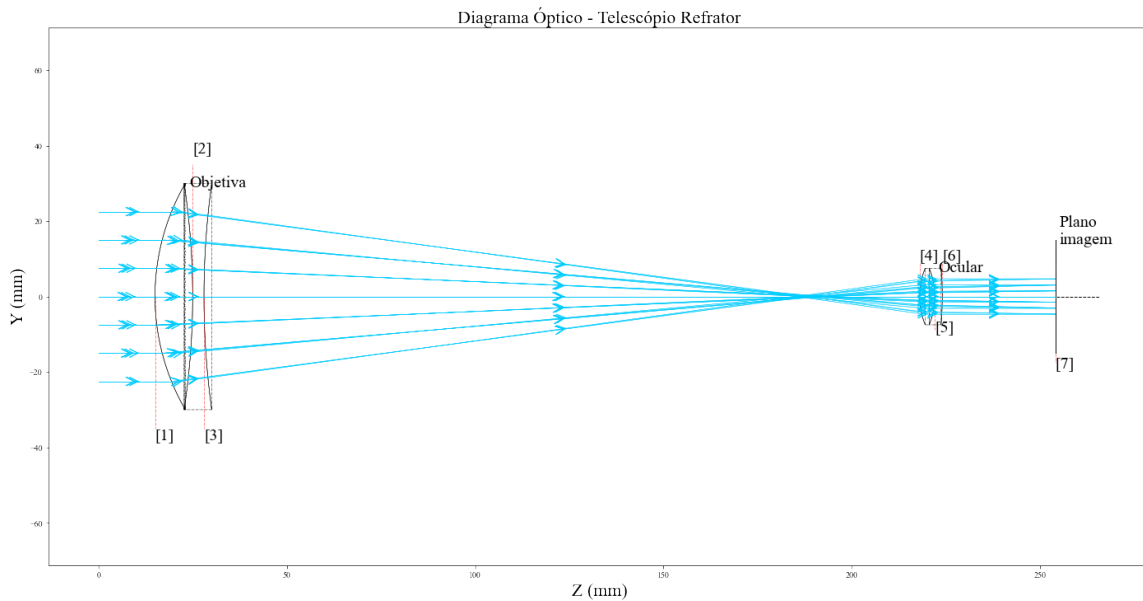


**Fig. 61.** Telescópio refrator acromático de 120 mm Sky-Watcher. Créditos: Sky-Watcher.



**Fig. 62.** Telescópio refrator apocromático de 122 mm SVBONY. Créditos: SVBONY.

Na Fig. 63 vemos um diagrama da configuração óptica de um telescópio refrator. A objetiva, à esquerda, é uma lente ou conjunto de lentes que coleta a luz dos objetos. À direita, a ocular forma a imagem no plano focal e pode ser trocada para mudar o aumento do instrumento.



**Fig. 63.** Esquema óptico simplificado de um telescópio refrator. Diagrama gerado com a biblioteca Python KrakenOS [3]. Créditos: Wandeclyat Melo.

Telescópios refratores de grande abertura são pouco comuns. As lentes são fixadas ao tubo somente por suas bordas, o que faz com que objetivas de maior diâmetro precisem também ser espessas, para resistir a deformações. Com o aumento da espessura das lentes surgem os problemas do peso e da redução da transparência, já que a luz precisará atravessar uma camada maior de vidro. Tipicamente, refratores disponíveis comercialmente são encontrados com diâmetros inferiores a 200 mm.

### 3.5 Refletores

Quando o elemento óptico que capta a luz do céu é um espelho, o telescópio é chamado de refletor. Na configuração newtoniana, a mais comum, a luz que entra pelo tubo é coletada por um espelho primário côncavo, localizado no fundo do tubo, e refletida em direção ao foco da curvatura desse espelho. Antes do ponto focal, um espelho plano, posicionado a 45°, desvia a luz perpendicularmente.

Telescópios refletores são os mais baratos para grandes aberturas. Podem ser construídos artesanalmente, desde o desbaste e polimento de seus espelhos até a construção de seus sistemas de montagem. Há excelentes construtores de telescópios nacionais, oferecendo uma variada gama de diâmetros que atendem desde iniciantes até observadores como mais experiência e interesse em imageamento avançado.

A Fig.64 mostra um telescópio newtoniano de fabricação nacional em montagem dobsoniana, indicado para iniciantes.



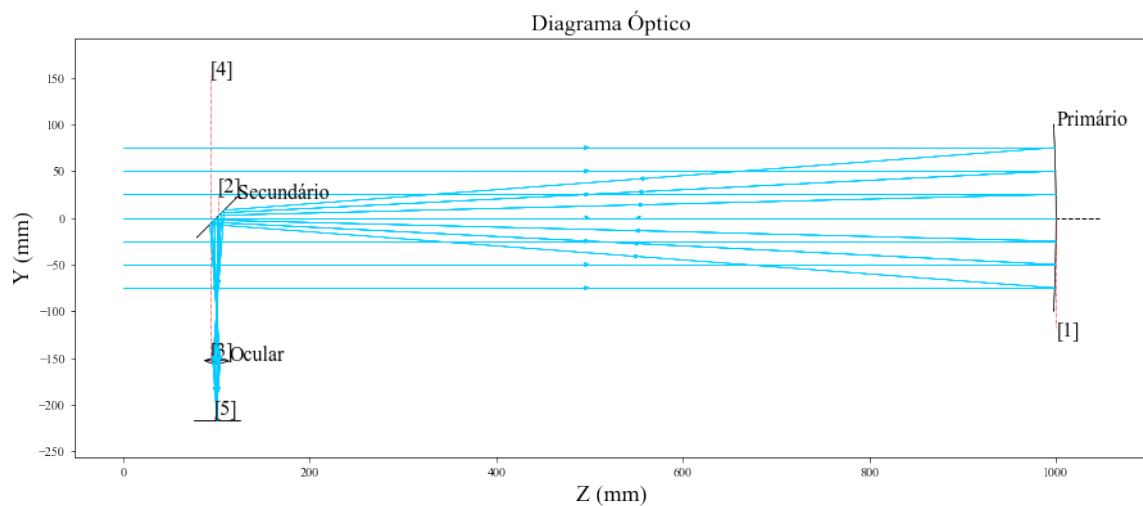
**Fig. 64.** Telescópio refletor de 114 mm de abertura Cosmos Sky Friend. Créditos: Telescópios Cosmos.

Telescópios refletores são leves e baratos, mas requerem cuidado no seu armazenamento, já que a superfície dos espelhos fica exposta ao ambiente, sujeitando-se a poeira e

umidade. O cuidado é necessário porque a limpeza dos espelhos não é um procedimento trivial. A limpeza, quando necessária, deve ser feita de maneira a não danificar a fina camada refletora de alumínio depositada sobre o vidro.

Além da limpeza, ocasionalmente pode ser necessário alinhar (colimar) os espelhos, que sofrem desalinhamento com o transporte, vibrações e pancadas.

A Fig. 65 mostra um diagrama óptico simplificado de um refletor newtoniano. A luz entra pelo lado esquerdo do tubo, é coletada por um espelho primário côncavo na posição [1] e refletida em direção ao foco da curvatura desse espelho. Um espelho secundário plano é posicionado a 45° na posição [2], desviando a luz a 90° em direção ao plano focal [5] onde instalamos as oculares[3].



**Fig. 65.** Esquema óptico simplificado de um telescópio refletor newtoniano. Diagrama gerado com a biblioteca Python KrakenOS [3]. Créditos: Wandeclyt Melo.

### 3.6 Catadióptricos

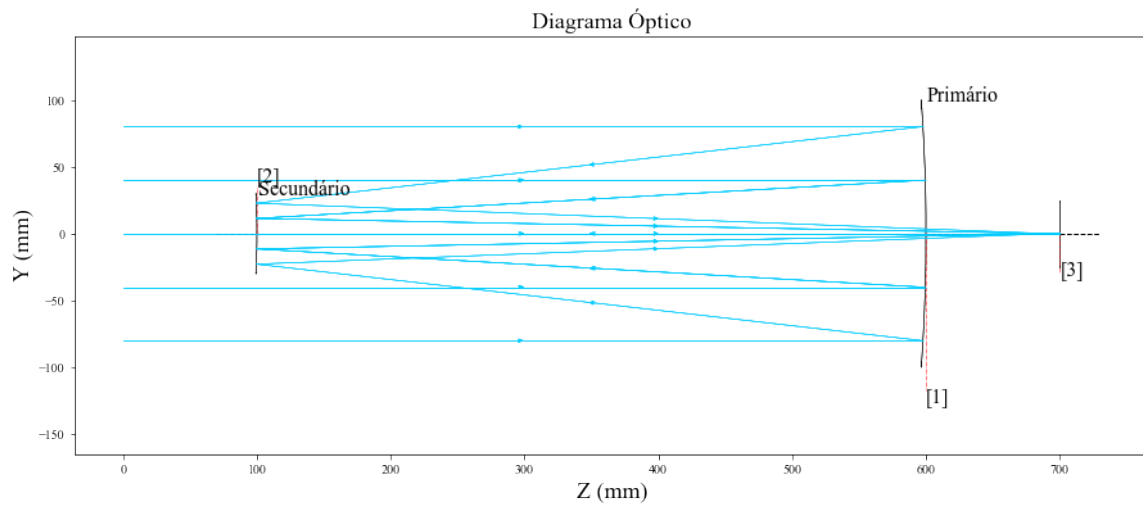
Utilizando uma combinação de lentes e espelhos, os telescópios catadióptricos compõem uma classe de telescópios com tubos compactos, preço competitivo e excelente desempenho óptico. Sua configuração mais comum incorpora uma lente corretora a um telescópio refletor do tipo Cassegrain.

São telescópios que combinam vantagens dos refletores e dos refratores.



**Fig. 66.** Telescópio Celestron Schmidt-Cassegrain de 8" em montagem altazimutal computadorizada [Celestron]

A Fig. 65 mostra um diagrama óptico simplificado de um refletor Cassegrain. A luz entra pelo lado esquerdo do tubo, é coletada por um espelho primário côncavo na posição [1] e refletida em direção ao foco da curvatura desse espelho. Um espelho secundário convexo na posição [2] reflete a luz de volta, através de um orifício central no espelho primário em direção ao plano focal [3] onde instalamos as oculares. Esta configuração reduz as dimensões do tubo do telescópio, resultando em tubos compactos mesmo para grandes distâncias focais.



**Fig. 67.** Esquema óptico simplificado de um telescópio refletor Cassegrain. Diagrama gerado com a biblioteca Python KrakenOS [3]. Créditos: Wandeclyt Melo.

Para este telescópio se tornar um catadióptrico, uma lente corretora é instalada na entrada do tubo, reduzindo aberrações como curvatura de campo e coma, que afetam a qualidade da imagem, sobretudo nas regiões mais afastadas do eixo óptico.

### 3.7 Oculares

Oculares são um componente crítico. São os últimos elementos ao longo do caminho óptico e são responsáveis pela ampliação da imagem observada. Um telescópio com um sistema óptico de boa qualidade pode ter sua imagem arruinada por oculares que introduzam aberrações na imagem.

Por serem compostas inteiramente por lentes, são susceptíveis a aberração cromática, por isso é comum que seus projetos ópticos empreguem vários conjuntos de lentes, visando diminuir este tipo de aberração. As oculares do tipo *Plössl* (Fig. 68) são compostas por quatro elementos agrupados em dois dubletos<sup>60</sup> e oferecem bom desempenho por custo aceitável. Oculares Plössl, tipicamente, proporcionam um campo aparente de 50°[35].

É importante entender o que significa “campo aparente”: dizer que uma ocular tem um campo aparente de 50° significa que a imagem formada vai ocupar uma área equivalente a 50° em nosso campo de visão.

O campo (FOV<sup>61</sup>) aparente é uma variável importante para determinar o campo de visão real no céu, conforme a Eq. 5:

$$FOV_{real} = \frac{FOV_{aparente}}{\text{Aumento}}. \quad (5)$$

Assim, utilizando uma ocular de 15 mm, com campo de 50° em um telescópio com F=1200 mm, lembrando a Eq. 4, teremos um aumento de

$$\text{Aumento} = \frac{F_{telescopio}}{F_{ocular}} = \frac{1200 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = 80.$$

E um campo de visão (FOV) real de

$$FOV_{real} = \frac{50^\circ}{80} = 0,625^\circ = 37,5'.$$

O “*campo real*” se refere ao ângulo compreendido no céu. A Lua Cheia tem o diâmetro aparente de aproximadamente 30' e poderia ser observada integralmente dentro deste campo de 37,5'.

As oculares Plössl tornaram-se um padrão no mercado, colocando em desuso famílias mais de desenho mais simples, com campo aparente mais estreito e mais suscetíveis a aberrações como as Huygens, Ramsden e Kellner. Apesar de terem um campo típico de 50°, oculares Plössl mais longas, como a 40 mm, tem um campo mais estreito, restrito pelo diâmetro do tubo.

Outras famílias de oculares como Nagler, Erfle e Ortoscópicas são mais complexas. E como se pode esperar, o preço sobe com a complexidade e qualidade das oculares, não sendo impossível gastar em oculares tanto quanto se pode gastar em um telescópio. Entre as famílias de oculares de mais alto desempenho, destacam-se as Nagler (Fig. 71), proporcionando um grande campo aparente de 82° com imagens de alto contraste.

---

<sup>60</sup>Conjuntos de duas lentes.

<sup>61</sup>*Field of view*.



**Fig. 68.** Ocular Celestron Omni Plössl de 15 mm, com campo (FOV) aparente 50°. Créditos: Celestron.



**Fig. 69.** Ocular TeleVue Plössl de 20 mm de distância focal, campo (FOV) aparente de 50°. Créditos: Tele Vue.



**Fig. 70.** Ocular Celestron Plössl de 40 mm, série Omni, com campo (FOV) aparente 43°. Créditos: Celestron.

Além da distância focal e do campo aparente, um outro parâmetro precisa ser observado ao selecionar oculares: o diâmetro do tubo. As bitolas mais comuns são 2" e 1,25" mas há também as mais exóticas oculares de 0,965" (24,5 mm). Ao adquirir oculares, certifique-se da compatibilidade entre as bitolas da ocular e do telescópio, ou providencie adaptadores.

As oculares também diferem na distância máxima entre o olho e última superfície da ocular para uma visão completa do campo. Esta distância de "alívio ocular" (*eye relief*) é importante para uma observação confortável, sobretudo quando se usa óculos. Oculares Plössl de distância focal curta proporcionam menores distâncias de *eye relief* dificultando a observação com o uso de óculos.

Outros detalhes importantes na construção das oculares são os revestimentos anti-reflexo e a pintura interna do cilindro, reduzindo reflexões internas, aumentando a transmissão de luz e garantindo imagens com mais contraste.

Os cilindros devem também possuir roscas internas, permitindo o acoplamento de filtros.

Um kit essencial de oculares deve garantir um conjunto de aumentos fortes (para observação de planetas, estrelas duplas e detalhes da superfície lunar), aumentos médios (para campos intermediários e alguns objetos de céu profundo menos extensos) e aumentos fracos (para nebulosas e aglomerados extensos e para observação da Lua e Sol - com filtros apropriados).



**Fig. 71.** Ocular TeleVue Nagler de 31 mm, com campo (FOV) aparente 82°. Créditos: Tele Vue Optics.

### 3.8 Lentes Barlow

O uso de lentes multiplicadoras do tipo Barlow (Fig. 72) pode reduzir seu investimento em oculares. Lentes do tipo Barlow são comumente com fatores de ampliação de 2X, 3X e 5X. Quando acopladas a uma ocular, multiplicam seu aumento pelo fator de ampliação. Assim, é possível ter, por exemplo, 6 configurações disponíveis de aumento, com apenas três oculares e uma Barlow.



**Fig. 72.** Lente Barlow 2X Celestron, série Omni. Créditos: Celestron.

Uma das vantagens do uso da Barlow é manter a distância de *eye relief* da ocular mesmo sob fortes aumentos, o que não costuma ser possível, sobretudo com oculares Plössl de pequena distância focal.

### 3.9 Binóculos

Alguns objetos são bem mais extensos que o campo de visão dos telescópios. Esse tipo de objeto se beneficia dos campos largos e luminosos proporcionados pelos binóculos. Além do grande campo, estes instrumentos agregam outras vantagens: custo mais baixo, peso e tamanho reduzidos, facilidade de transporte e armazenamento, baixa manutenção.

Binóculos são caracterizados por sua abertura e pela sua magnificação. Sua designação é da forma “aumento x abertura (em mm)”. Assim, binóculos designados como 7x50 (Fig. 73), proporcionam aumento de 7 vezes e possuem objetivas com abertura de 50 mm.

Com estas características ópticas, a pupila de saída desse instrumento é de 7,1 mm (Eq. 6), ou seja, a luz captada pela objetiva é projetada na saída em uma região circular de 7,1 mm de diâmetro, coincidindo com a abertura máxima da pupila de um humano adulto, quando adaptada ao escuro. Nestas condições, nosso olho aproveita toda a luz captada pelas objetivas.

$$\text{Pupila} = \frac{\text{Abertura}}{\text{Aumento}} \quad (6)$$

O campo de visão real de binóculos 7x50 mm é de mais de 6°. Este grande campo de visão é ideal para observação de cometas, das Nuvens de Magalhães, das estrelas de fundo da Via Láctea, de aglomerados próximos como as Plêiades (M45) e outros objetos extensos.



**Fig. 73.** Binóculos Celestron série Cometron 7x50mm. Créditos: Celestron.

Com grandes aumentos e aberturas, os binóculos passam a ter dimensões e pesos que exigem o uso de tripés para uma observação confortável, podendo sair de menos de 800 g para binóculos como o Celestron Cometron de 7x50 mm, para ultrapassar 2 kg em binóculos 20x80 mm da série SkyMaster (Fig. 74), também da Celestron.

Mesmo com um grande aumento, o campo de visão proporcionado por este instrumento (3,7°) ainda é muito maior que o dos telescópios, proporcionando imagens brilhantes e con-

trastadas de campos largos e ricos do céu. Apesar de exigir um tripé (Fig. 75) para garantir imagens estáveis, ainda é um instrumento portátil o suficiente para ser transportado na mochila em expedições a regiões afastadas da poluição luminosa, além de ser pouco sensível a pequenos impactos, vibrações e intempéries.



**Fig. 74.** Binóculos Celestron série SkyMaster 20x80mm. Créditos: Celestron.



**Fig. 75.** Binóculos Celestron série SkyMaster 20x80 mm montado em tripé. Créditos: Celestron.

Binóculos são os instrumentos ideais de entrada. Mas isso não significa que você vai abandoná-los ao adquirir um telescópio. Eles seguirão sendo companheiros de viagem, de caça a cometas e de noites prazerosas sob o céu estrelado. É um investimento para toda a vida.

### 3.10 *Smart Telescopes*

Os *Smart Telescopes* são uma nova classe de telescópios compactos, de baixo custo e completamente automatizados. Esses telescópios inteligentes são dedicados à captura de imagens e não permitem a observação visual, através da ocular. No entanto, apesar de sua pequena abertura, são capazes de registrar com sucesso objetos de céu profundo como galáxias, nebulosas e aglomerados estelares, mesmo em condições severas de poluição luminosa em céus urbanos.



**Fig. 76.** Smart Telescope ZWO Seestar S50, em frente ao prédio do telescópio Perkin-Elmer de 1,60 m do Observatório do Pico dos Dias (OPD). Créditos: Wandeclyt M.

Dotados de sistemas internos de processamento de imagem e geolocalização, esses telescópios alinham-se de forma autônoma e apontam, reconhecem e acompanham alvos no céu durante capturas de longa exposição, além de realizar internamente o processamento das imagens capturadas, empilhando uma série de exposições curtas e gerando uma imagem final com alta relação sinal-ruído (SNR) <sup>62</sup>.

É possível selecionar os alvos através da biblioteca de objetos ou navegando através de um atlas. Durante o apontamento, o telescópio reconhece visualmente o campo, garantindo

---

<sup>62</sup>A relação sinal ruído é uma indicação da qualidade da imagem. Em imagens de exposições curtas de objetos pouco brilhantes, o ruído na imagem é alto comparado ao nível do sinal. Combinando uma sequência de imagens num processo de empilhamento é possível eliminar o ruído e realçar o sinal.

que o alvo esteja centralizado no campo do detector.

Uma das opções no mercado é o Seestar S50. O telescópio *Seestar S50* é um *Smart Telescope* da fabricante chinesa ZWO. É um telescópio de 50 mm de abertura, com 250 mm de distância focal, equipado com um sensor Sony IMX462 que registra imagens de 1920x1080 pixels, que podem ser combinadas em mosaicos de maiores dimensões. É leve (3 kg), facilmente transportável e é equipado com uma bateria de longa duração (6 h de uso).



**Fig. 77.** Imagem da Nebulosa Trífida (M20), com tempo total de exposição de 42 mim, capturada com telescópio Seestar S50. Créditos: Wandeclyt M.

As imagens geradas trazem informações de horário da captura e geolocalização do telescópio e carregam as informações de coordenadas celestes do campo registrado.

Embora não seja possível observar visualmente, se o objetivo é o registro de imagens, sobretudo sem a necessidade do domínio de técnicas avançadas de processamento de imagens astronômicas, os *Smart Telescopes* são uma opção muito adequada para iniciantes ou mesmo para observadores experientes que busquem um instrumento portátil e que produza imagens sem grande carga de trabalho no pós-processamento.

## 3.11 Montagens

### 3.11.1 Montagem Altazimutal

Falamos até agora sobre os tubos ópticos<sup>63</sup> que constituem os telescópios. Mas estes tubos precisam estar acoplados a uma montagem que dará ao mesmo tempo estabilidade e mobilidade ao tubo. As montagens se dividem em dois tipos: altazimutais e equatoriais.

O telescópio na Fig. 78 é um refletor newtoniano instalado em uma base altazimutal dobsoniana. Esta é uma montagem simples, portátil e de baixo custo, idealizada pelo astrônomo amador e popularizador da astronomia John Lowry Dobson<sup>64</sup> (1914-2015).



**Fig. 78.** Telescópio refletor de 10" em montagem altazimutal dobsoniana. Créditos: Sky-Watcher.

Montagens altazimutais, como a dobsoniana, movem-se em torno de um eixo horizontal (azimute) e de um eixo de elevação vertical (altura). É uma montagem popular entre

<sup>63</sup>Em inglês é comum se referir ao tubo como Optical Tube Assembly (OTA)

<sup>64</sup>Além de construir telescópios, John Dobson idealizou com dois alunos (Bruce Sams e Jeff Rollof) a associação *San Francisco Sidewalk Astronomers* em São Francisco, na Califórnia, em 1968. Os membros do movimento eram astrônomos amadores, popularizadores da Astronomia que montavam telescópios nas calçadas e convidavam o público a observar gratuitamente.

construtores de telescópio amadores (ATM<sup>65</sup>) que as utilizam para construir telescópios de grandes aberturas sem sacrifício da portabilidade.

Este não é o tipo de montagem mais adequado para astrofotografia, podendo, no entanto, ser usada para fotografar objetos que usualmente não requerem longas exposições como a Lua e o Sol.

Para manter um objeto no campo da ocular do telescópio, são necessárias correções simultâneas nos eixos de elevação e azimute, tornando o acompanhamento mais complexo em montagens motorizadas. Mas essas dificuldades são irrelevantes em sessões de observação visual (não fotográficas) em que realizamos o acompanhamento manualmente.

Telescópios dobsonianos são uma excelente opção de telescópio de entrada. Dispensam um alinhamento preciso no início da sessão, suportam telescópios de grandes dimensões sem o uso de contra-pesos e não necessitam de alimentação elétrica.

Além da montagem dobsoniana há outras configurações altazimutais, como a mostrada na Fig. 79. Essa montagem é adequada sobretudo para telescópios refratores (lunetas) de distância focal curta e outros pequenos telescópios.



**Fig. 79.** Tripé com montagem altazimutal Explore Scientific, modelo Twilight Nano, para telescópios de até 6 kg. Créditos: Explore Scientific.

---

<sup>65</sup>Amateur Telescope Makers.

A complexidade (e o custo) das montagens altazimutais podem escalar rapidamente para sistemas motorizados e computadorizados, que incluem sistemas de guiamento e busca de objetos automatizada (sistemas *Go-To*), como o telescópio mostrado na Fig. 80. Este modelo incorpora recursos avançados de geolocalização, alinhamento e acompanhamento, além de uma biblioteca interna de objetos astronômicos para apontamento automático.



**Fig. 80.** Telescópio Celestron CPC Deluxe 1100 HD em montagem altazimutal computadorizada.  
Créditos: Celestron.

### 3.11.2 Montagem Equatorial

A Fig. 81 é uma fotografia noturna com 30 minutos de tempo de exposição, capturada na cidade de Itatim, na Bahia, em fevereiro de 2023. A câmera está apontada para a direção do ponto cardeal sul. No primeiro plano vemos um *inselberg*, ou ilha de pedra, uma formação comum em Itatim, enquanto no céu as estrelas descrevem arcos de circunferência em torno de um ponto que parece fixo. Este ponto é a projeção no céu do polo sul terrestre.

Este movimento aparente das estrelas é causado pelo movimento de rotação da Terra. Para eliminar este efeito e permitir a captura de imagens de longa exposição, sem que os objetos se desloquem no campo, um telescópio deve ser capaz de compensar esse movimento e acompanhar os objetos para os quais o telescópio seja apontado.



**Fig. 81.** A rotação da Terra fica evidenciada nesta imagem com 30 minutos de tempo de exposição, registrada na cidade de Itatim, na Bahia. Créditos: Wandeclyt Melo.

Montagens do tipo equatorial possuem um eixo que deve ser posicionado paralelamente ao eixo de rotação da Terra e um eixo que varre o céu ao longo dos meridianos. Desta maneira, se a montagem é corretamente alinhada, é possível manter um objeto no campo do telescópio compensando o movimento de rotação da Terra através da correção em apenas um eixo. Esse alinhamento do eixo da coordenada “ascensão reta” da montagem com o eixo de rotação da Terra é chamado de alinhamento polar. No hemisfério sul, o eixo deve apontar para o Polo Sul Celeste (PSC), o ponto que aparece fixo no céu na Fig. 81.

Não há nenhuma estrela muito brilhante nas proximidades do Polo Sul Celeste, mas é possível determinar sua posição a partir da latitude local e de uma bússola que indique o norte verdadeiro (não magnético).

A elevação do Polo Celeste coincide com a latitude do observador e se encontra na direção do ponto cardeal sul.

Além do alinhamento, é importante balancear a carga sobre a montagem com o uso de contra-pesos. O balanceamento evita a sobrecarga dos motores da montagem (no caso das montagens motorizadas) e o desgaste prematuro de buchas e engrenagens. É importante consultar o limite de carga útil informado pelo fabricante, adequando a montagem ao peso do telescópio, contabilizando também os acessórios acoplados ao instrumento como câmeras, buscadora, rodas de filtro e *autoguiders*.



**Fig. 82.** Montagem equatorial Sky-Watcher EQ5 com tripé de aço. Créditos: Sky-Watcher.

Montagens equatoriais são mais complexas, mas são as mais adequadas para astrofotografia, uma vez que as montagens altazimutais geram uma rotação indesejada no campo em imagens de longa exposição. Para eliminar essa rotação, as montagens altazimutais podem ser acopladas a um dispositivo chamado “cunha equatorial”, mostrado na Fig. 83, que converte sua configuração de altazimutal para equatorial.



**Fig. 83.** Cunha Equatorial. Créditos: Celestron.

Nem todas as montagens são projetadas para o uso com telescópios. Para astrofotografia de grande campo, utilizando câmeras equipadas com objetivas de menor distância focal, há montagens portáteis, conhecidas como *trackers* (Fig. 84). Os *trackers* são capazes de suportar cargas da ordem de 5 kg e podem ser acoplados a tripés comuns para câmeras fotográficas.



**Fig. 84.** Tracker modelo Star Adventurer. Créditos: Sky-Watcher.

A portabilidade de um tracker o torna um excelente aliado na fotografia de cometas e de chuvas de meteoros, que frequentemente exigem o deslocamento para sítios escuros, afastados da poluição luminosa, e que podem envolver acessos íngremes onde seria difícil chegar com tripés e montagens maiores e mais pesadas. Como toda montagem equatorial,

os trackers precisam estar corretamente alinhados com relação ao eixo polar, para garantir o correto acompanhamento do céu.

Dependendo de sua capacidade de carga e de sua precisão, o custo de uma montagem pode variar de uma centena até dezenas de milhares de dólares, como a montagem robótica apresentada na Fig. 85.



**Fig. 85.** Montagem equatorial robótica Paramount de alta precisão. Créditos: Software Bisque.

### 3.12 Resumo

Cada tipo de telescópio apresenta vantagens e desvantagens. Além da construção óptica do instrumento, o tipo de montagem utilizada (equatorial, azimutal, dobsoniana) também influi diretamente na adequação do telescópio para fins específicos.

Experimentar telescópios com diferentes aberturas e diferentes conjuntos de oculares e, sobretudo, interagir com grupos de observadores, trocando impressões e experiências, é sempre muito produtivo para decidir que telescópio adquirir. É comum, inclusive, que muitos observadores tenham mais de um telescópio, para diferentes atividades.

**Tabela 6.** Vantagens e desvantagens dos principais tipos de telescópios

<b>Tipo de Instrumento</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Refrator	Imagens nítidas e contrastadas; fácil manutenção, pois não requer colimação; bom para observação de planetas e objetos brilhantes.	Aberração cromática em telescópios com lentes simples, ou singletos; lentes grandes são caras e difíceis de fabricar; geralmente mais caros para grandes aberturas.
Refletor	Grande abertura a um custo menor; sem aberração cromática; ideal para observação de objetos fracos e distantes, como objetos de céu profundo.	Requer colimação frequente; tubo aberto, expondo os espelhos à poeira; maior sensibilidade ao clima e às condições atmosféricas.
Catadióptrico	Tubos curtos, mesmo em grandes distâncias focais; combina características de refratores e refletores; boa correção de aberrações.	Geralmente mais caro que refletores de abertura semelhante; pode apresentar ligeira perda de contraste devido à obstrução central; requer tempo maior para equalização térmica.
Binóculos	Leve e de baixo custo. Facilmente transportável. Proporcionam grandes campos, ideais para a observação de cometas, da Via Láctea e outros objetos extensos.	Instrumentos de maior abertura e aumento são pesados e exigem o uso de tripé para estabilizar a imagem, comprometendo a portabilidade.
SmartScope	Leve e compacto. Apontamento e acompanhamento automáticos. Operação simplificada. Captura e processa internamente imagens de objetos de céu profundo. Custo baixo para um sistema completo de aquisição e processamento de imagem.	Operação restrita à captura de imagens. Não é possível observar através de ocular.



## **Glossário**

**Ascensão Reta** A coordenada *Ascensão Reta* é o equivalente em coordenadas celestes equatoriais à coordenada terrestre longitude. 22

**Barlow** Lente multiplicadora, usada em conjunto com as oculares de telescópios. 86

**dia sideral** O dia sideral é o período de rotação da Terra em relação ao referencial das estrelas fixas. Sua duração é de 23h56min. 55

**dia solar** O dia solar é o período de rotação da Terra, tomando como referência a passagem meridiana do Sol. O dia solar possui duração variável ao longo do ano e sua duração média é 24 h (86400 s). 36

## **Siglas**

**GNSS** Global Navigation Satellite System. 36

**IAU** União Astronômica Internacional. 1, 28

**IERS** International Earth Rotation Service. 36

**ITRF** International Terrestrial Reference Frame. 36

**MIC** Museu Interativo de Ciências. 1

**OTA** Optical Tube Assembly. 91

**PNC** Polo Norte Celeste. 53

**PSC** Polo Sul Celeste. 53

## Referências

- [1] SMITH, W. J. *Modern Optical Engineering - The Design of Optical Systems*. McGraw-Hill, 1966. 111 p. Disponível em: <<https://archive.org/details/modernopticaleng0000smit/>>.
- [2] STOCKMAN, A.; SHARPE, L. T. Spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype. *Vision Research*, v. 40, p. 1711–1737, 2000.
- [3] HERRERA, J. et al. KrakenOS: Python-based general exact ray tracing library. *Optical Engineering*, SPIE, v. 61, n. 1, p. 015101, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1117/1.OE.61.1.015101>>.
- [4] DREYER, J. L. E. *Tycho Brahe: A Picture of Scientific Life and Work in the Sixteenth Century*. A. & C. Black, 1890. Disponível em: <<https://archive.org/details/tychobraheapict00dreygoog>>.
- [5] BRAHE, T. *Astronomiæ instauratæ mechanica*. Levinus Hulsius, Nuremberg, 1602. Disponível em: <<https://www.loc.gov/resource/gdcwdl.wdl04304>>.
- [6] BAYER, J. *Uranometria*. [S.l.]: Augustae Vindelicorum : excudit Christophorus Mangus, 1603.
- [7] RIDPATH, I. *Star Tales*. [S.l.]: Lutterworth Press, 2018. ISBN 978-0718894788.
- [8] FLAMSTEED, J. *Historiæ Coelestis Britannicæ*. H. Meere, London, 1725. Disponível em: <<https://www.digitale-sammlungen.de/en/view/bsb10485041>>.
- [9] LALANDE, J. J. de. *Éphémérides des movemens celestes*. [S.l.]: Hérisant, Paris, 1783.
- [10] HALLEY, E. *A synopsis of the astronomy of comets*. John Senex, 1705. 21-22 p. Disponível em: <<https://archive.org/details/synopsisofastron00hall/>>.
- [11] STOYAN, R. et al. *Atlas of the Messier Objects - Highlights of the Deep Sky*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2008. ISBN 978-0-521-89554-5.
- [12] BOCHART de Saron, 1730–1794. *Nature*, v. 125, n. 3142, p. 95, 1930. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/125095a0>>.
- [13] MESSIER, C. Notices sur mes comètes. Tradução para o inglês por Hartmut Frommert. 1810. Disponível em: <<http://messier.lamost.org/seds/seds.org/messier/en/xtra/history/notes-c.html>>.
- [14] MESSIER, C. Connoissance des temps, ou conoissance des mouvemens célestes pour l'année bissextile 1784. In: \_\_\_\_\_. L'Imprimerie Royale, 1781. cap. Catalogue des Nébuleuses et des Amas d'Etoiles, p. 226–269. Disponível em: <<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6514280n/>>.
- [15] HOSKIN, M. *William and Caroline Herschel, Pioneers in Late 18th-Century Astronomy*. [S.l.]: Springer, 2014.
- [16] HERSCHEL, C. L. *Correspondence*. John Murray, London, 1879. 382 p. <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/18701>. Disponível em: <<https://www.biodiversitylibrary.org/item/58351>>.
- [17] HERSCHEL, C. *Catalogue of Stars, taken from Mr. Flamsteed's Observations contai-*

- ned in the second volume of *Historiæ Cælestis and not inserted into the British Catalogue*. Royal Society, 1798. Disponível em: <[https://archive.org/details/bim\\_eighteenth-century\\_catalogue\\_of\\_stars\\_take\\_flamsteed\\_john\\_1798](https://archive.org/details/bim_eighteenth-century_catalogue_of_stars_take_flamsteed_john_1798)>.
- [18] HERSCHEL, W. On the parallax of the fixed stars. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1782.
- [19] HERSCHEL, W. Catalogue of 500 new nebulae, nebulous stars, planetary nebulae, and clusters of stars; with remarks on the construction of the heavens. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London*, p. 477–528, 1802. Disponível em: <<https://archive.org/details/philtrans06090694>>.
- [20] HERSCHEL, W. Description of a forty-feet reflecting telescope. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 85, p. 347–409, 1795. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstl.1795.0021>>.
- [21] DREYER, J. L. E. *A New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars*. The Royal Astronomical Society, London, 1888. Disponível em: <<https://archive.org/details/newgeneralcatalo00dreyrich/newgeneralcatalo00dreyrich>>.
- [22] JONES, D. Norman pogson and the definition of stellar magnitude. *Astronomical Society of the Pacific Leaflets*, n. 469, p. 145–152, 1968. Disponível em: <<https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1968ASPL...10..145J/0000150.000.html>>.
- [23] POGSON, N. Magnitudes of thirty-six of the minor planets for the first day of each month of the year 1857. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 17, n. 1, p. 12–15, 11 1856. ISSN 0035-8711. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/mnras/17.1.12>>.
- [24] RIDPATH, I. *Constellations*. acesso em 16 de março de 2025. Disponível em: <<http://www.ianridpath.com/constellations1.html>>.
- [25] CHÉREAU, F. et al. *Stellarium: Planetarium for your computer*. 2026. Astrophysics Source Code Library, record ascl:2603.001. Disponível em: <<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2026ascl.soft03001C>>.
- [26] SEIDELMANN, P. K. *Explanatory supplement to the Astronomical almanac*. University Science Books, 2006. ISBN 978-1-891389-45-0. Disponível em: <<https://archive.org/details/explanatorysuppl00pken/>>.
- [27] INTERNATIONAL CONFERENCE HELD AT WASHINGTON FOR THE PURPOSE OF FIXING A PRIME MERIDIAN AND A UNIVERSAL DAY. *Protocols of the Proceedings*. Gibson Bros, 1884. Disponível em: <<https://www.gutenberg.org/files/17759/17759-h/17759-h.htm>>.
- [28] MALYS, S. et al. Why the greenwich meridian moved. *Journal of Geodesy*, v. 89, p. 1263–1272, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00190-015-0844-y>>.
- [29] IAU. *Resolution B1: "Precession Theory and Definition of the Ecliptic"*. International Astronomical Union, 2006. Disponível em: <<https://www.iau.org/Iau/Publications/List-of-Resolutions>>.
- [30] HUTCHINS, R. M. *Great Books of The Western World - Ptolemy, Copernicus, Kepler*. Enciclopædia Britannica, 1952. 223-232 p. Disponível em:

- <<https://archive.org/details/almagest00ptol/>>.
- [31] GRANNEY, C. M.; GRAYSON, T. P. On the telescopic disks of stars: A review and analysis of stellar observations from the early seventeenth through the middle nineteenth centuries. *Annals of Science*, Taylor & Francis, v. 68, n. 3, p. 351–373, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00033790.2010.507472>>.
- [32] ARGYLE, B.; ARGYLE, R. W. Observing and measuring visual double stars. In: \_\_\_\_\_. Springer New York, NY, 2012. cap. The Resolution of a Telescope, p. 105–115. ISBN 978-1-4614-3945-5. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3945-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3945-5_10)>.
- [33] KITCHIN, C. R. *Telescopes and Techniques*. 3. ed. [S.l.]: Springer, New York, NY, 2013. (Undergraduate Lecture Notes in Physics). ISBN 978-1-4614-4891-4.
- [34] NICOLINI, J. *Manual do Astrônomo Amador*. 2. ed. Campinas, SP: Editora Papirus, 1991. ISBN 85-308-0167-9.
- [35] WALKER, B. *Optical Design for Visual Systems*. SPIE, 2000. TT45. (SPIE tutorial texts, TT45). ISBN 9780819438867. Disponível em: <<https://spie.org/Publications/Book/391324>>.

## Apêndice A: Alfabeto Grego

**Tabela 7.** Alfabeto Grego.

$\alpha$	alfa
$\beta$	beta
$\gamma$	gamma
$\delta$	delta
$\epsilon$	epsilon
$\zeta$	zeta
$\eta$	eta
$\theta$	theta
$\iota$	iota
$\kappa$	kappa
$\lambda$	lambda
$\mu$	mi
$\nu$	ni
$\xi$	xi
$\omicron$	omicron
$\pi$	pi
$\rho$	rô
$\sigma$	sigma
$\tau$	tau
$\upsilon$	upsilon
$\phi$	fi
$\chi$	qui
$\psi$	psi
$\omega$	ômega

**Apêndice B: Constelações Oficiais (IAU), Abreviaturas, Genitivos, Tradução.**

<b>Código</b>	<b>Nome Latino</b>	<b>Genitivo</b>	<b>Tradução Português</b>
And	Andromeda	Andromedae	Andrômeda
Ant	Antlia	Antliae	Máquina Pneumática
Aps	Apus	Apodis	Ave-do-paraíso
Aql	Aquila	Aquilae	Águia
Aqr	Aquarius	Aquarii	Aquário
Ara	Ara	Arae	Altar
Ari	Aries	Arietis	Carneiro
Aur	Auriga	Aurigae	Cocheiro
Boo	Boötes	Bootis	Boieiro
Cae	Caelum	Caeli	Cinzel
Cam	Camelopardalis	Camelopardalis	Girafa
Cnc	Cancer	Cancri	Caranguejo
CVn	Canes Venatici	Canum Venaticorum	Cães de Caça
CMa	Canis Major	Canis Majoris	Cão Maior
CMi	Canis Minor	Canis Minoris	Cão Menor
Cap	Capricornus	Capricorni	Capricórnio
Car	Carina	Carinae	Quilha
Cas	Cassiopeia	Cassiopeiae	Cassiopeia
Cen	Centaurus	Centauri	Centauro
Cep	Cepheus	Cephei	Cefeu
Cet	Cetus	Ceti	Baleia
Cha	Chamaeleon	Chamaeleontis	Camaleão
Cir	Circinus	Circini	Compasso
Col	Columba	Columbae	Pomba
Com	Coma Berenices	Comae Berenices	Cabeleira de Berenice
CrA	Corona Australis	Coronae Australis	Coroa Austral
CrB	Corona Borealis	Coronae Borealis	Coroa Boreal
Crv	Corvus	Corvi	Corvo
Crt	Crater	Crateris	Taça
Cru	Crux	Crucis	Cruzeiro do Sul
Cyg	Cygnus	Cygni	Cisne
Del	Delphinus	Delphini	Golfinho
Dor	Dorado	Doradus	Dourado
Dra	Draco	Draconis	Dragão
Equ	Equuleus	Equulei	Potro
Eri	Eridanus	Eridani	Eridano
For	Fornax	Fornacis	Fornalha
Gem	Gemini	Geminorum	Gêmeos

<b>Código</b>	<b>Nome Latino</b>	<b>Genitivo</b>	<b>Tradução Português</b>
Gru	Grus	Gruis	Grou
Her	Hercules	Herculis	Hércules
Hor	Horologium	Horologii	Relógio
Hya	Hydra	Hydrae	Hidra
Hyi	Hydrus	Hydri	Hidra Macho
Ind	Indus	Indi	Índio
Lac	Lacerta	Lacertae	Lagarto
Leo	Leo	Leonis	Leão
LMi	Leo Minor	Leonis Minoris	Leão Menor
Lep	Lepus	Leporis	Lebre
Lib	Libra	Librae	Balança
Lup	Lupus	Lupi	Lobo
Lyn	Lynx	Lyncis	Lince
Lyr	Lyra	Lyrae	Lira
Men	Mensa	Mensae	Mesa
Mic	Microscopium	Microscopii	Microscópio
Mon	Monoceros	Monocerotis	Unicórnio
Mus	Musca	Muscae	Mosca
Nor	Norma	Normae	Esquadro
Oct	Octans	Octantis	Octante
Oph	Ophiuchus	Ophiuchi	Serpentário
Ori	Orion	Orionis	Orion
Pav	Pavo	Pavonis	Pavão
Peg	Pegasus	Pegasi	Pégaso
Per	Perseus	Persei	Perseu
Phe	Phoenix	Phoenicis	Fênix
Pic	Pictor	Pictoris	Pintor
Psc	Pisces	Piscium	Peixes
PsA	Piscis Austrinus	Piscis Austrini	Peixe Austral
Pup	Puppis	Puppis	Popa
Pyx	Pyxis	Pyxidis	Bússola
Ret	Reticulum	Reticuli	Retículo
Sge	Sagitta	Sagittae	Flecha
Sgr	Sagittarius	Sagittarii	Sagitário
Sco	Scorpius	Scorpii	Escorpião
Scl	Sculptor	Sculptoris	Escultor
Sct	Scutum	Scuti	Escudo
Ser	Serpens	Serpentis	Serpente
Sex	Sextans	Sextantis	Sextante
Tau	Taurus	Tauri	Touro
Tel	Telescopium	Telescopii	Telescópio

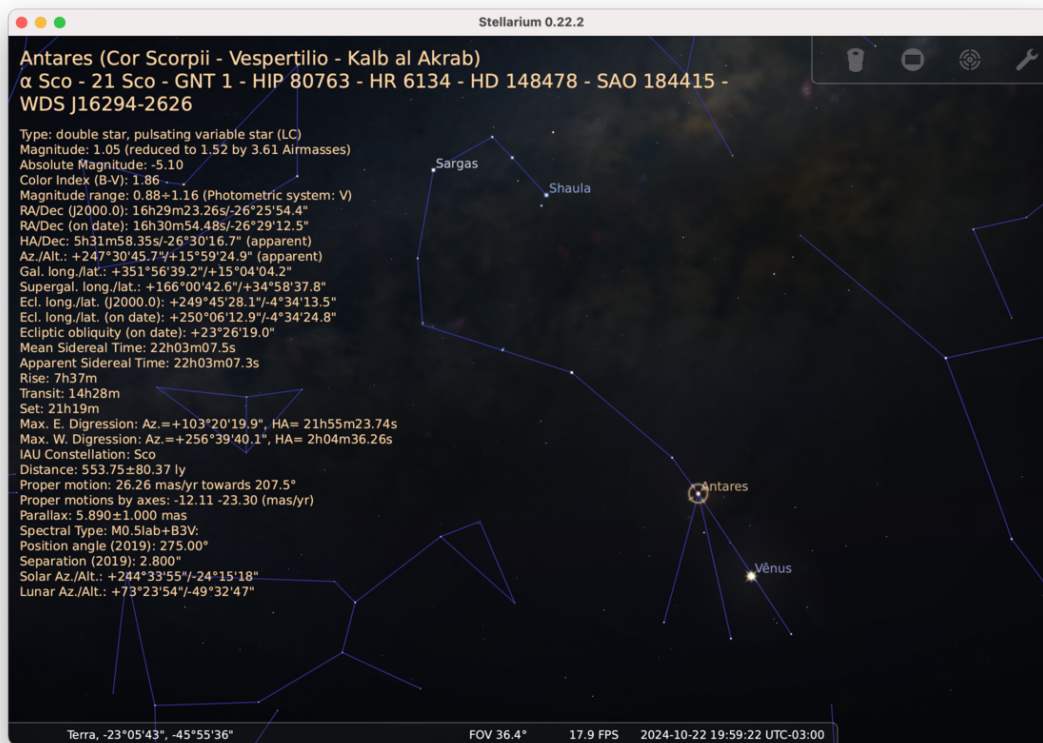
<b>Código</b>	<b>Nome Latino</b>	<b>Genitivo</b>	<b>Tradução Português</b>
Tri	Triangulum	Trianguli	Triângulo
TrA	Triangulum Australe	Trianguli Australis	Triângulo Austral
Tuc	Tucana	Tucanae	Tucano
Uma	Ursa Major	Ursae Majoris	Ursa Maior
UMi	Ursa Minor	Ursae Minoris	Ursa Menor
Vel	Vela	Velorum	Vela
Vir	Virgo	Virginis	Virgem
Vol	Volans	Volantis	Peixe Voador
Vul	Vulpecula	Vulpeculae	Raposa

### 3.13 Incluindo Objetos no Stellarium

#### Apêndice C: Automatizando o Stellarium

O Stellarium é um planetário virtual distribuído como software livre (gratuito e de código aberto) que permite simular e visualizar o céu a partir do local e instante definidos pelo usuário.

A versão desktop do Stellarium (Fig. 86) está disponível para os principais sistemas operacionais atuais (Linux, MacOS e Windows) e pode ser baixada gratuitamente no site [www.stellarium.org](http://www.stellarium.org)



**Fig. 86.** Tela do planetário virtual Stellarium, exibindo a constelação do Escorpião e informações sobre a estrela Antares

Além dos arquivos de instalação, você encontrará uma documentação completa e clara. Dominando suas principais funções, é possível criar sessões de planetário interativas na tela de seu computador ou mesmo comandar projeções em uma cúpula real de um planetário.

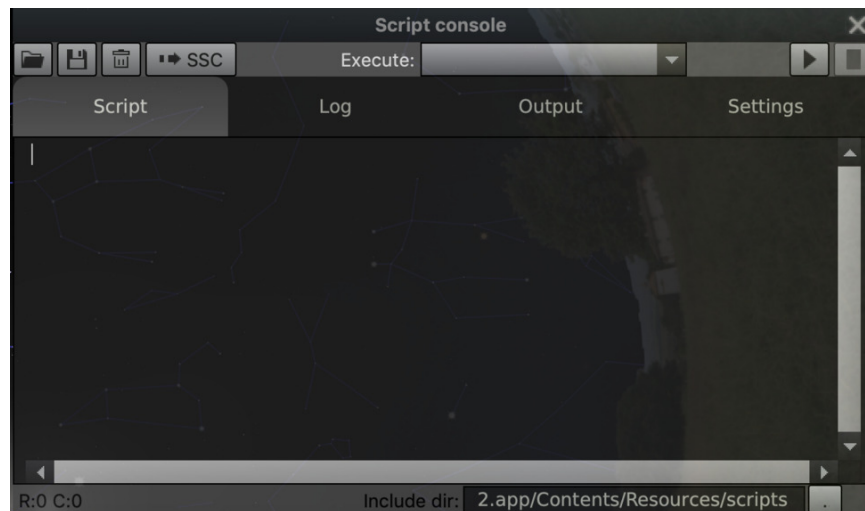
O programa recebe comandos através de sua interface gráfica ou de atalhos no teclado, mas, com um pouco de dedicação e com o apoio da documentação oficial disponível no site, você pode dar um passo à frente e explorar as capacidades de automação do Stellarium utilizando scripts.

A seguir, introduziremos, com exemplos, o básico da automação do Stellarium.

## Scripts - O Básico

As sessões do *Stellarium* podem ser enriquecidas, automatizando movimentos e outras mudanças de parâmetros. É possível, por exemplo, criar uma animação suave variando a posição do observador para mostrar a diferença na visualização de determinado evento em função da latitude. Sem necessidade de interromper a execução para inserir a nova localidade a cada passo da sessão.

Essa automação é possível com o uso de scripts que podem ser importados ou escritos diretamente no console de scripts do aplicativo (Fig. 87).



**Fig. 87.** Console de scripts do Stellarium.

Esse tipo de interação é possível porque partes do código de execução do Stellarium são disponibilizadas para acesso por meio de um interpretador de scripts. Os scripts permitem acessar essas funcionalidades para manipular e controlar parâmetros e variáveis do Stellarium, ativar funções e estabelecer rotinas e condições seguindo um roteiro definido no script.

A linguagem utilizada é a ECMAScript, que define a estrutura e os padrões de sintaxe, mas as funções disponíveis são herdadas inteiramente do código do Stellarium.

Acesse o *Script Console* através da tecla de função F12 e digite o código a seguir:

```
1 //primeiro vamos limpar a tela, apagando
2 //rotulos que possam estar exibidos
3 LabelMgr.deleteAllLabels();
4
5 //criamos variaveis para cada parametro
6 var mensagem = "Hello World!";
7 var posicaoX = 200;
8 var posicaoY = 400;
```

```
9 var tamanhoFonte = 36;
10 var corFonte = "#FFFF00" //amarelo
11
12 //exibicao da mensagem
13 LabelMgr.labelScreen(mensagem, posicaoX, posicaoY,
14                       true, tamanhoFonte, corFonte);
```

**Listing 1. Hello World**

O código acima exibe na tela a mensagem “Hello World!” na posição (200, 400), com coordenadas medidas a partir do canto superior esquerdo da tela (Fig. 88).



**Fig. 88.** Hello World

Certos parâmetros admitem apenas os valores `true` (verdadeiro) e `false` (falso) e habilitam ou desabilitam visualizações ou modos do aplicativo. Por exemplo: Para exibir os rótulos das constelações, use:

```
1 ConstellationMgr.setFlagLabels(true)
```

Para ocultar os rótulos, use:

```
1 ConstellationMgr.setFlagLabels(false)
```

Outros parâmetros admitem valores numéricos ou uma lista, que pode incluir elementos numéricos ou alfanuméricos.

## Guia de Referência

### Core (Funções Básicas) - Parâmetros de Tempo e Posição

- `core.setDate('aaaa-mm-ddThh:mm:ss', 'local/utc')` - Ajusta a data/hora.
- `core.setDate('now')` - Ajusta a data/hora para a data e hora atual do sistema.

- `core.wait(i)` - Introduz uma pausa de i segundos.
- `core.setTimeRate(i)` - Ajusta a velocidade da simulação (0=tempo interrompido, 1=velocidade natural, n=tempo acelerado n vezes.)
- `core.waitFor('aaaa-mm-ddThh:mm:ss', 'local/utc')` - Espera até a data e hora indicadas.
- `core.setObserverLocation(lon, lat, alt, duração, nome, planeta)`

### Core (Funções Básicas) - Parâmetros de Exibição

- `core.clear('natural')` - Limpa as opções de exibição. Apaga linhas, marcadores e rótulos. Exibe atmosfera e paisagem.
- `core.setGuiVisible(true/false)` - exibe/oculta a interface gráfica.
- `core.setFlagGravityLabels(true/false)` - habilita/desabilita rótulos orientados com o horizonte.
- `core.selectConstellationByName(const)` - Seleciona a constelação indicada. Use o nome da constelação em latim ou o código de três letras (ex: “Virgo” ou “Vir”).
- `core.selectObjectByName(“nome do objeto”)` - Seleciona um objeto celeste. Use a designação do objeto em um catálogo de céu profundo (NGC, Messier...), uma designação estelar (Bayer, Flamsteed, HD...), o nome de uma constelação - em latim ou usando a designação de 3 letras da IAU - ou o nome de um planeta (em inglês).
- `core.moveToAltAzi(atura, azimute, duração)` - aponta para a atura e azimute indicados.
- `core.moveToObject(“nome do objeto”, duração)` - aponta para um objeto celeste indicado. Use a designação do objeto em um catálogo de céu profundo (NGC, Messier...), uma designação estelar (Bayer, Flamsteed, HD...), o nome de uma constelação - em latim ou usando a designação de 3 letras da IAU - ou o nome de um planeta (em inglês).
- `core.moveToSelectedObject(duração)` - Aponta para um objeto selecionado.

<http://stellarium.org/doc/head/classStelMainScriptAPI.html>

### LandscapeMgr (Atributos de Cenário)

```
LandscapeMgr.setFlagCardinalPoints(false) //Pontos cardeais.
LandscapeMgr.setFlagAtmosphere(true/false) //Atmosfera.
```

## **GridLinesMgr (Atributos de Linhas)**

Exibir(true)/ocultar(false) atributos de linhas:

```
GridLinesMgr.setFlagEquatorGrid(true/false) //Grade equatorial
GridLinesMgr.setFlagEquatorLine(true/false) //Equador celeste
GridLinesMgr.setFlagAzimuthalGrid(true/false) //Grade azimutal
GridLinesMgr.setFlagEclipticLine(true/false) //Eclíptica
GridLinesMgr.setFlagMeridianLine(true/false) //Meridiano local
GridLinesMgr.setFlagCircumpolarCircles(true/false) //Círculos
    circumpolares
GridLinesMgr.setFlagCelestialPoles(true/false) //Polos celestes
```

<http://stellarium.org/doc/head/classGridLinesMgr.html>

## **ConstellationMgr (Atributos de constelações)**

```
ConstellationMgr.setFlagArt(true/false) //Arte.
ConstellationMgr.setFlagBoundaries(true/false) //Bordas
ConstellationMgr.setFlagLines(true/false) //Linhas
ConstellationMgr.setFlagLabels(true/false) //Rotulos
```

## **StelMovementMgr ()**

```
StelMovementMgr.lookZenith() //aponta para o zênite.
StelMovementMgr.deselection() //desfaz a seleção de objeto.
StelMovementMgr.zoomTo(campo em graus, duração) //ajusta zoom.
```

<http://stellarium.org/doc/head/classStelMovementMgr.html>

## Loop for

Estrutura:

```
for (i=0; i<valorFinal; i++)
{
//Sequencia de comandos
}
```

Exemplo - Marcar a posição do cometa C/2025 R2 (SWAN) em 10 dias sucessivos, a partir de 20 de setembro de 2025.

```
1 //Titulo - Cometa C/2025 R2
2 //Author: Wandeclyt M./@ceuprofundo
3 //License: CC-BY-NC 4.0
4
5 MarkerMgr.deleteAllMarkers(); //limpa todos os marcadores
6 core.setDate("2025-09-20T22:00:00", "UTC-3"); //ajusta data inicial
7 core.setTimeRate(0); //interrompe movimento diurno
8
9 var pause = 1 //define duracao da pausa
10 var objeto = "C/2025 R2 (SWAN)" //define o objeto
11
12 for (i=0; i<10; i++)
13 {
14 MarkerMgr.markerObject(objeto);
15 var hora = core.getDate();
16 core.wait(pause);
17 core.setDate("hora + 1days");
18 }
```

**Listing 2.** Exemplo de Script: Posição de um Objeto

### Exemplo - Analema.

```
1 //Titulo - Analema
2 //Author: Wandeclyt M./@ceuprofundo
3 //License: CC-BY-NC 4.0
4
5 MarkerMgr.deleteAllMarkers();
6 core.setDate("2025-09-22T17:10:00", "local");
7 core.setTimeRate(0);
8
9 StelMovementMgr.zoomTo(60, 3);
10 StelMovementMgr.lookWest();
11
12 for (i=0; i<54; i++)
13 {
14     var sun = core.getObjectInfo("Sun");
15     var azi = sun.azimuth;
16     var alt = sun.altitude;
17     MarkerMgr.markerHorizon(azi, alt, true,
18         "crossed-circle", "#CCCCAA", 5, false, 0);
19     core.wait(0.5)
20     core.setDate("+ 7 days");
21 }
```

**Listing 3.** Exemplo de Script: Analema



**Fig. 89.** Analema, exibido no céu do Observatório do Pico dos Dias (OPD). Créditos: Wandeclyt M.

## **Apêndice D: Demonstrações, Equações e Scripts**

### **3.14 Scripts**

Links para os notebooks usados no texto na plataforma Google Colab.

1. [Coordenadas Celestes.](#)
2. [Coordenadas Geográficas e Estações.](#)
3. [Leis de Kepler.](#)

## A Superlua é mesmo Super?

A Lua Cheia de perigeu costuma receber o apelido de Superlua e ser amplamente noticiada como um evento em que a Lua aparece muito maior e mais brilhante do que quando a Lua Cheia ocorre em outro ponto da órbita lunar.

Podemos, conhecendo as distâncias médias da Lua no perigeu e no apogeu, determinar a diferença de diâmetro aparente e magnitude da Lua entre esses pontos e concluir se a Superlua é mesmo Super.

A formula geral para calcular a magnitude aparente de um objeto celeste é

$$m = m_0 - 2,5 \log \left( \frac{F}{F_0} \right), \quad (7)$$

Onde  $m$  é a magnitude aparente,  $m_0$  é a magnitude de referência, e  $F/F_0$  é a razão entre o fluxo de radiação observado e o o fluxo de referência. Este é um processo de comparação de magnitudes e é necessária uma magnitude de referência  $m_0$  para determinar a magnitude aparente  $m$  de um segundo objeto ou do mesmo objeto em instantes diferentes.

Como o fluxo observado da Lua corresponde à fração da radiação solar refletida pela superfície lunar, podemos escrever

$$F = \frac{L \cdot A \cdot S}{d^2}. \quad (8)$$

Onde  $L$  é a constante solar, ou seja, o fluxo de radiação solar recebido na superfície da Lua.  $A$  é o albedo lunar, a fração da radiação solar refletida pela Lua.  $S$  é a área da superfície lunar visível da Terra. E  $d$  é a distância entre a Terra e a Lua.

Como  $L$ ,  $A$  e  $S$  permanecem constantes no perigeu e no apogeu, a razão  $F/F_0$  se torna

$$\frac{F}{F_0} = \frac{d^2}{d_0^2}. \quad (9)$$

A variação na magnitude aparente da Lua entre o perigeu e o apogeu fica então

$$\Delta m = m_{\text{apogeu}} - m_{\text{perigeu}} = -2,5 \log \left( \frac{d_{\text{perigeu}}^2}{d_{\text{apogeu}}^2} \right). \quad (10)$$

Utilizando os valores médios de distância entre a Terra e a Lua no perigeu e no apogeu,  $d_{\text{perigeu}} = 363300$  km e  $d_{\text{apogeu}} = 405500$  km, encontramos

$$\Delta m = -5 \log \left( \frac{363300}{405500} \right) \approx -5 \log(0,896) \approx 0,24. \quad (11)$$

No perigeu a Lua é 0,24 magnitudes mais brilhante que no apogeu. Esta é uma diferença sutil, dificilmente perceptível a olho nu.

O diâmetro aparente da Lua também é um parâmetro que varia com a distância e é dado por

$$\theta = 2 \arctan \frac{D}{2d}, \quad (12)$$

onde  $\theta$  é o diâmetro aparente (angular) da Lua,  $D$  é o diâmetro real da Lua ( $D = 3478,8$  km) e  $d$  é a distância geocêntrica entre a Terra e a Lua.

A razão entre o diâmetro aparente no perigeu e no apogeu fica

$$\frac{\theta_{\text{perigeu}}}{\theta_{\text{apogeu}}} = \frac{2 \arctan(D/2d_{\text{perigeu}})}{2 \arctan(D/2d_{\text{apogeu}})}. \quad (13)$$

Para pequenos ângulos,  $\arctan(x) \approx x$ , e a razão  $\theta_{\text{perigeu}}/\theta_{\text{apogeu}}$  pode ser simplificada como

$$\frac{\theta_{\text{perigeu}}}{\theta_{\text{apogeu}}} \approx \frac{D/2d_{\text{perigeu}}}{D/2d_{\text{apogeu}}} = \frac{d_{\text{apogeu}}}{d_{\text{perigeu}}}. \quad (14)$$

Utilizando os valores médios de distância no apogeu e no perigeu, resulta

$$\frac{\theta_{\text{perigeu}}}{\theta_{\text{apogeu}}} = \frac{405,5}{363,3} \approx 1,116, \quad (15)$$

indicando um diâmetro aparente 11,6% maior no perigeu. Assim como a diferença de brilho entre os pontos extremos da órbita lunar, de apenas 0,24 magnitudes, a diferença no diâmetro aparente também é sutil e dificilmente perceptível.

## Leis de Kepler

### Terceira lei de Kepler

A força gravitacional entre dois corpos de massas  $M$  e  $m$  separados por uma distância  $r$  é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles e é direcionada ao longo da linha que une os corpos:

$$\vec{F}_g = G \frac{M \cdot m}{r^2} \hat{r} \quad (16)$$

A força centrípeta que leva um corpo de massa  $m$  a descrever uma órbita circular de raio  $r$ , com módulo de velocidade  $v$  é:

$$\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp} = m \frac{v^2}{r} \hat{r} \quad (17)$$

Fica claro que, no caso de órbitas planetárias, a força centrípeta é a força gravitacional:

$$\vec{F}_g = \vec{F}_{cp} \quad (18)$$

Igualando as eq. 16 e 17:

$$G \frac{M \cdot m}{r^2} \hat{r} = m \frac{v^2}{r} \hat{r} \quad (19)$$

Dividindo ambos os lados da equação por  $m$  e fazendo  $v = 2\pi r/T$ , onde  $T$  é o período orbital e  $r$  é o raio da órbita, resulta:

$$G \frac{M}{r^2} = \frac{v^2}{r} = \left( \frac{2\pi \cdot r}{T} \right)^2 \frac{1}{r} \quad (20)$$

Reordenando os termos, encontramos:

$$\frac{GM}{4\pi^2} = \frac{r^3}{T^2} \quad (21)$$

Como  $GM/4\pi^2$  é constante, demonstramos que a razão  $r^3 : T^2 = \text{constante}$ , conforme enunciado por Kepler em sua terceira lei.

Kepler publicou suas leis entre 1609 e 1619, elaborando-as de maneira puramente empírica, baseando-se nas observações realizadas por seu mentor, o astrônomo Tycho Brahe. A mecânica e a gravitação newtoniana usados nesta demonstração não estavam disponíveis para Kepler, uma vez que Newton só nasceria décadas mais tarde.

Perceba que é possível isolar  $M$  na eq. 21 e que conhecendo  $r$  e  $T$  de um objeto de massa  $m \ll M$  orbitando um corpo central, podemos encontrar a massa  $M$ :

$$M = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{r^3}{T^2} \quad (22)$$

## Magnitude limite

A capacidade de um telescópio e de nossa pupila de captar luz depende da área de sua abertura. Assim, uma pupila completamente adaptada ao escuro e dilatada, representa a melhor condição para a observação a olho nu. Nessa condição é possível perceber estrelas de magnitude 6. Considerando uma abertura máxima da pupila de 7 mm, teremos uma área de

$$a = \pi \times r_{\text{pupila}}^2 = \pi \times \left(\frac{7 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 38,5 \text{ mm}^2.$$

Em comparação, em um telescópio refletor de 200 mm de diâmetro, a área do espelho primário é:

$$A = \pi \times r_{\text{telesc}}^2 = \pi \times \left(\frac{200 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 31415 \text{ mm}^2.$$

Isso representa uma área 816 vezes maior que a de nossa pupila. Ou seja, um telescópio de 200 mm (8") tem capacidade de coletar 816 vezes mais luz do que nossa pupila.

Considerando as propriedades logarítmicas da escala de magnitudes, podemos determinar o incremento na magnitude limite observável através do telescópio comparada ao limite observável a olho nu pela expressão:

$$\Delta_m = 2,5 \log_{10} \left(\frac{A}{a}\right). \quad (23)$$

A razão entre as áreas pode ser simplificada como

$$\frac{A}{a} = \frac{\pi(D/2)^2}{\pi(d/2)^2} = \left(\frac{D}{d}\right)^2,$$

onde  $D$  e  $d$  são, respectivamente, o diâmetro do telescópio e da pupila dilatada.

Podemos agora reescrever a Eq. 23 como

$$\Delta_m = 2,5 \log_{10} \left(\frac{D}{d}\right)^2 = 5(\log_{10} D - \log_{10} d). \quad (24)$$

A magnitude limite observada com o telescópio corresponderá ao limite a olho nu, acrescido de  $\Delta_m$ :

$$m_{\text{limite (telesc)}} = m_{\text{limite (olho nu)}} + \Delta_m. \quad (25)$$

Considerando a abertura máxima da pupila de 7 mm e o limite a olho nu de 6 magnitudes encontramos a expressão:

$$\begin{aligned} m_{\text{limite (telesc)}} &= 6 + 5 \log_{10} 7 + 5 \log_{10} D_{\text{telesc}} \\ &= 1,775 + 5 \log_{10} D_{\text{telesc}}. \end{aligned} \quad (26)$$

## Magnitude Absoluta

Quando medimos o fluxo luminoso de uma estrela, como a vemos da Terra, estamos determinando sua magnitude aparente. Aparente porque uma estrela muito luminosa pode parecer pouco brilhante se sua distância até a Terra é muito grande. Ao contrário, Sírius, uma estrela razoavelmente modesta, mas próxima, aparece para nós como a estrela mais brilhante do céu noturno.

Para comparar apropriadamente as luminosidades estelares, precisamos definir uma nova quantidade: a magnitude absoluta. A magnitude absoluta corresponde à magnitude observada com as estrelas a uma distância padrão, definida como 10 parsecs (32,6 anos-luz).

A magnitude aparente da estrela está relacionada com a magnitude absoluta e a distância até a estrela pela relação

$$m_{ap} = m_{abs} - 2,5 \log_{10} \left( \frac{F}{F_0} \right), \quad (27)$$

onde  $F$  é o fluxo medido na Terra e  $F_0$  é o fluxo a 10 parsecs.

Sendo o fluxo inversamente proporcional ao quadrado da distância, podemos reescrever:

$$\begin{aligned} m_{ap} &= m_{abs} - 2,5 \log_{10} \left( \frac{d_0}{d} \right)^2 \\ &= m_{abs} - 5 \log_{10} \left( \frac{d_0}{d} \right) \\ &= m_{abs} - 5 \log_{10} d_0 + 5 \log_{10} d \end{aligned} \quad (28)$$

A distância em parsecs pode ser encontrada a partir das paralaxes medidas, em milissegundos de arco ( $mas$ ), e disponibilizadas em catálogos abertos como o produzido pela missão Gaia. A relação para a distância é simplesmente

$$d = \frac{1000}{\varpi}, \quad (29)$$

onde  $\varpi$  é a paralaxe em  $mas$ . Fazendo  $d_0 = 10$  parsecs e  $d = 1000/\varpi$ , a Eq. (28) fica:

$$\begin{aligned} m_{ap} &= m_{abs} - 5 \log_{10} 10 + 5 \log_{10} (1000/\varpi) \\ &= m_{abs} - 5 \log_{10} 10 + 5 \log_{10} 1000 - 5 \log_{10} \varpi \\ &= m_{abs} - 5 \log_{10} \varpi + 10. \end{aligned} \quad (30)$$

Reorganizando os termos, encontramos a equação para computar a magnitude absoluta a partir da magnitude aparente e da paralaxe:

$$m_{abs} = m_{ap} + 5 \log_{10} \varpi - 10. \quad (31)$$

**Propriedades dos logaritmos.**

$$\log_b A = x \implies b^x = A. \quad (32)$$

$$\log_b(AB) = \log_b A + \log_b B \quad (33)$$

$$\log_b \left( \frac{A}{B} \right) = \log_b A - \log_b B \quad (34)$$

$$\log_b(A^n) = n \log_b A \quad (35)$$

$$\log_b(A) = \frac{\log_c A}{\log_c b} \quad (36)$$

$$\log_b(1) = 0 \quad (37)$$

$$\log_b(b) = 1 \quad (38)$$

## Image Magick

O ImageMagick é uma ferramenta gratuita e de código aberto para manipulação e processamento de imagens digitais. Ela foi usada extensivamente para editar muitas das imagens que aparecem neste trabalho. O software e sua documentação podem ser obtidos em <https://imagemagick.org>. Abaixo, listamos alguns exemplos de uso do ImageMagick usando o terminal:

1. Conversão de todos os arquivos com extensão jp2 para png.

```
magick mogrify -format png *.jp2
```

2. Corte de uma faixa horizontal de 512 px abaixo do centro da imagem.

```
magick *.png -crop 4096x512+0+2048 *.png
```

3. Mosaico.

```
magick montage arquivo0.png arquivo1.png ... arquivo9.png  
-tile 1x10 -geometry +0+10 -background white \  
arquivodesaida.png
```

4. Redimensionamento.

```
magick arquivo.png -resize 50% arquivoredimensionado.jpg
```

5. Texto sobre imagem (1).

```
magick arquivo.png -font Arial -pointsize 20 \  
-draw "gravity south fill white text x,y 'texto' " \  
arquivoanotado.png
```

## **Apêndice E: Histórico de Versões**

**V 0.1.0  $\beta$**  - 2025-09-20.

**V 0.1.1  $\beta$**  - 2025-11-25.

**V 0.2.0  $\beta$**  - 2026-05-01.