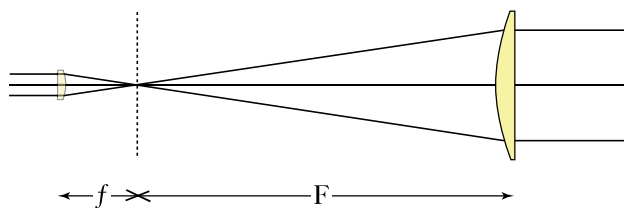


8- Opacidade da atmosfera da Terra em função do comprimento de onda da radiação. Pode-se ver que a atmosfera é totalmente opaca à radiação de alta energia (ultravioleta, raios X e gama), parcialmente transparente no visível e no infravermelho próximo, opaca na faixa das ondas de rádio milimétricas, transparente novamente na faixa das ondas métricas e novamente opaca para as ondas muito longas (crédito: NASA).

## 2.3 TELESCÓPIOS

### 2.3.1 CONCEITOS BÁSICOS

Um telescópio é essencialmente um funil para coleta de luz: quanto maior sua área, maior a quantidade de luz recolhida, e dependendo da óptica, melhor as imagens obtidas. Existem diversos conceitos básicos de óptica envolvidos no funcionamento de um telescópio. Vamos examiná-los:



9- Diagrama básico de um telescópio. A luz entra pela lente convergente à direita, chega ao plano focal à distância  $F$  da objetiva e sai pela ocular da esquerda, cuja distância focal é  $f$ .

#### • Abertura

É o diâmetro da objetiva do telescópio no caso dos refratores. Ou o diâmetro do espelho primário no caso dos refletores.

#### • Resolução angular ou poder separador

Esse é o mínimo ângulo no céu que um telescópio consegue distinguir. Quanto maior a resolução angular, menores os detalhes de um objeto que o telescópio poderá resolver. Matematicamente, a



10- Telescópio refrator de Galileo (à direita) e telescópio refletor de Newton (à esquerda), dois dos primeiros telescópios construídos.

resolução angular pode ser expressada, desprezando-se o efeito da atmosfera da Terra ou defeitos na óptica, por:

$$\alpha_R = \frac{138}{D} \quad (5)$$

onde:

$\alpha_R$ : resolução angular em segundos de arco

$D$ : abertura do telescópio em milímetros

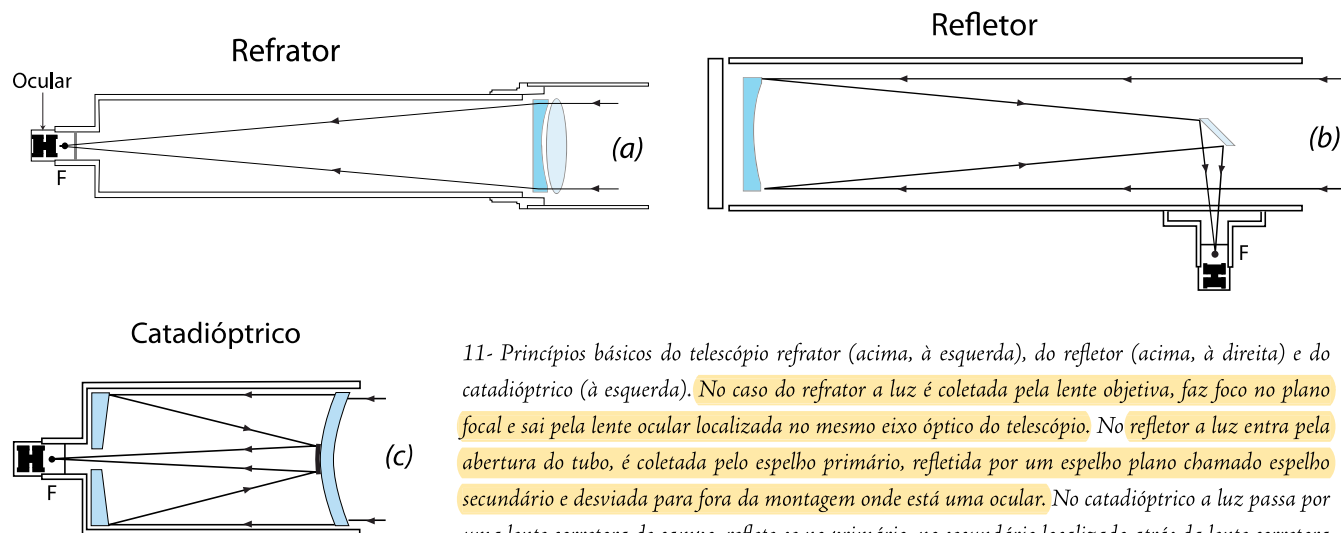
Essa expressão diz, por exemplo, que com um telescópio de 10 cm de diâmetro é possível distinguir detalhes de 1,38 segundo de arco. Já com um telescópio de 30 cm de diâmetro, em princípio, pode distinguir detalhes de 0,46 segundo de arco.

#### • Distância focal e razão focal

A distância focal de uma lente convergente (ou de um espelho côncavo, no caso dos telescópios refletor) é uma medida de como se dá a convergência da luz. Para uma dada ocular, distâncias focais pequenas implicam em aumentos maiores, porém em campos de visão menores no céu. A razão focal é a razão entre a distância focal e o diâmetro de uma lente ou espelho. Para uma dada abertura, razão focal menor implica em campo de visão maior no céu.

#### • Magnificação

É o poder de aumento de um telescópio. Ela é dada pela razão das distâncias focais da objetiva e da ocular de um telescópio. Com frequência as pessoas se surpreendem quando descobrem que um telescópio profissional com vários metros de diâmetro aumenta tanto ou menos que pequenos instrumentos usados em astronomia amadora. Isso ocorre porque o poder de resolução é o parâmetro fundamental que define a qualidade de um telescópio. Instrumentos pequenos que acenam com centenas de magnificações não são promissores para a astronomia.



11- Princípios básicos do telescópio refrator (acima, à esquerda), do refletor (acima, à direita) e do catadióptrico (à esquerda). No caso do refrator a luz é coletada pela lente objetiva, faz foco no plano focal e sai pela lente ocular localizada no mesmo eixo óptico do telescópio. No refletor a luz entra pela abertura do tubo, é coletada pelo espelho primário, refletida por um espelho plano chamado espelho secundário e desviada para fora da montagem onde está uma ocular. No catadióptrico a luz passa por uma lente corretora de campo, reflete-se no primário, no secundário localizado atrás da lente corretora e então é dirigida para a ocular por um orifício no espelho primário.

$$M = \frac{F}{f} \quad (6)$$

onde:

$M$ : magnificação, ou número de vezes que o telescópio aumenta.

$F$ : distância focal da objetiva

$f$ : distância focal da ocular

Dessa expressão pode-se concluir que o mesmo equipamento pode produzir imagens com aumento diferente, bastando para isso trocar a ocular. Normalmente os telescópios têm jogos de oculares intercambiáveis.

### 2.3.2 TELESCÓPIOS REFRACTORES, REFLETORES E CATADIÓPTRICOS

Em 2009 completou-se 400 anos que Galileo usou o primeiro telescópio astronômico. Tratava-se de um modesto refrator com 26 mm de abertura, mas, com ele a astronomia libertou-se dos limites do olho humano e uma revolução na compreensão do Universo teve início.

Desde os primeiros telescópios astronômicos no século 17 os dois conceitos básicos de telescópio, o refrator e o refletor, caminharam juntos. Limitações tecnológicas favoreceram um ou outro tipo ao longo do tempo. Só no século 19 é que os grandes telescópios de pesquisa foram desenvolvidos. Essa foi a época dos primeiros grandes refletores. O maior deles, o chamado Leviatã de Parsonstown, foi construído na Irlanda em 1845 por Lord Rosse e tinha 1,8 metro de diâmetro. Era um instrumento de grande porte, mas complexo, de operação totalmente manual, muito difícil e com severas limitações para apontamento. Raramente foi utilizado.

Ainda durante o século 19 as montagens de telescópio evoluíram bastante e os instrumentos refratores tiveram seu apogeu já que eram mais rígidos e simples de montar que os refletores. Era finalmente possível ter um telescópio que apontava com facilidade para qualquer direção no céu, e, com o uso de um motor, foi possível compensar a rotação da Terra e acompanhar um corpo celeste por horas a fio. Os motores, no princípio, eram acionados por pesos ou por corda como nos relógios.



12- Refrator de 40 polegadas (102 cm) do observatório Yerkes (crédito: Yerkes Observatory).

Posteriormente, o motor elétrico resolveu esse desafio. O maior refrator construído, no observatório Yerkes, tem 102 cm de abertura, com distância focal de 19,4 metros.

A construção do grande refrator de Yerkes representou o limite superior para a tecnologia de construção dos telescópios refratores. Sua grande lente objetiva (na verdade um par acromático de lentes) de 102 cm de diâmetro é muito espessa para evitar deformações produzidas pela gravidade, de modo que apenas uma fração pequena da luz incidente passa através dela.

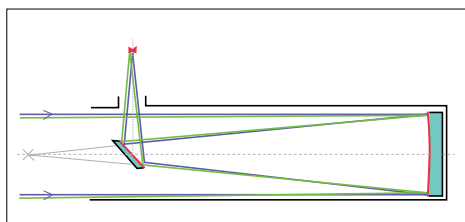
Isso evidenciou que os telescópios profissionais de maior diâmetro seriam refletores. No caso desses modelos, apenas um dos lados do sistema coletor de luz, um espelho côncavo, necessita ser polido. As lentes, ao contrário, requerem polimento de alta precisão em ambas as faces. Além disso, o espelho pode ficar apoiado por toda a sua face inferior, o que minimiza a deformação por ação da gravidade enquanto que as lentes devem ser apoiadas apenas pelas bordas, o que distorce as imagens.

Existem diferentes projetos de telescópios refletores. Conforme sua utilização, um telescópio com dada abertura pode ter o caminho óptico da luz em seu interior maior ou menor, o que refletirá em distintas luminosidades ou magnificações das imagens.

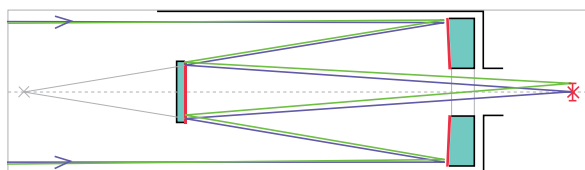
O telescópio newtoniano é o mais simples dos refratores. Esse modelo tem um espelho primário paraboloide e um secundário plano que desvia a luz para fora do tubo, onde está uma ocular. Neste projeto, a ocular fica próxima do extremo superior do tubo, ponto pouco prático para colocar instrumentos pesados. Os telescópios dobsonianos, muito populares entre os astrônomos amadores, são uma variação dos newtonianos.

Na óptica Cassegrain os raios de luz fazem um percurso duplo no tubo: refletem no espelho primário, um paraboloide, são desviadas para um secundário, com forma hiperboloide e então passam por um orifício no centro do primário, fazendo foco abaixo desse subsistema. Essa óptica torna o instrumento bastante compacto. A quase totalidade dos telescópios profissionais usa uma variação do Cassegrain chamada óptica Ritchey-Chrétien, onde os espelhos primário e secundário são hiperboloides, pois esse projeto minimiza as aberrações ópticas. Nesse tipo de telescópio os equipamentos de detecção são colocados abaixo do espelho primário, no eixo óptico do telescópio.

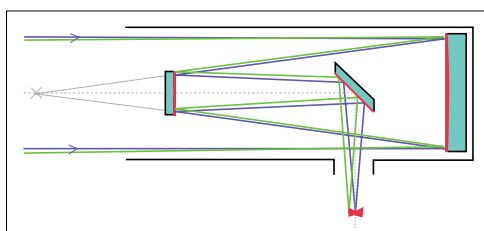
Telescópios com foco Nasmyth, com foco Coudé, têm projeto similar ao Cassegrain, mas contam com um terceiro espelho que desvia o feixe de luz do eixo óptico do telescópio. Esses modelos nor-



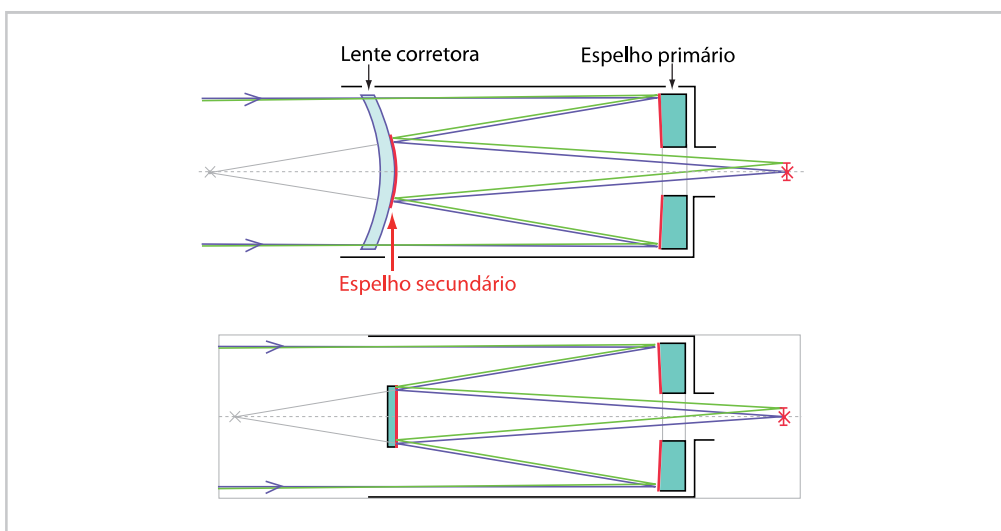
13- Refletor newtoniano (crédito: Wikimedia Commons).



14- Refletor Cassegrain (crédito: Wikimedia Commons).



15- Refletor Nasmyth (crédito: Wikimedia Commons).



16- Os dois projetos de telescópios catadióptricos mais populares. A imagem superior demonstra o esquema de um telescópio Schmidt-Cassegrain e a inferior o de um telescópio Maksutov-Cassegrain. Em ambos os casos o espelho secundário está junto à face inferior da lente corretora de campo.



17- Duas montagens altazimutais. Em ambas, o movimento do telescópio se dá num eixo horizontal (de azimute) e num eixo vertical (de altura). O telescópio da esquerda é acionado por motores elétricos controlados por computador e o da direita é totalmente manual (crédito: Celestron).



18- Montagem equatorial motorizada (crédito: Celestron).

malmente são utilizados em grandes telescópios que usam equipamentos de detecção pesados e não podem ser montados no próprio tubo, como grandes espectrógrafos.

Os telescópios catadióptricos combinam características dos refletores e dos refratores simultaneamente. São instrumentos nos quais a luz é coletada por um espelho primário como nos refletores, mas o tubo óptico é fechado e na sua entrada uma lente corretora de campo permite corrigir aberrações ópticas da imagem. Esse conceito permite projetar instrumentos com grande distância focal, mantendo o tubo compacto.

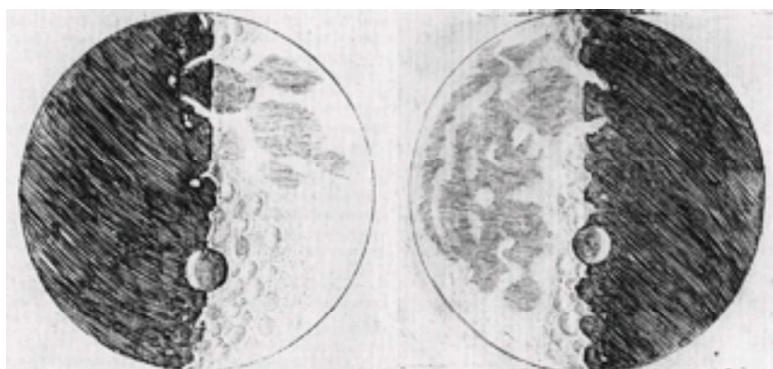
Para se observar um astro por um longo período é necessário que a rotação da Terra seja compensada. Isso é feito com emprego de um motor ou de um conjunto de motores que move o tubo do telescópio, mantendo o alvo sempre na mira. Assim, um ponto crítico no projeto ou na aquisição de um telescópio é a decisão sobre a montagem do equipamento, o que vai definir como o acompanhamento sideral é feito.

Existem duas montagens básicas de telescópio: a equatorial e a altazimutal. Em ambos os casos, o telescópio é montado sobre dois eixos ortogonais que permitem apontá-lo para qualquer direção no céu e, com o acionamento de motores, compensar a rotação da Terra. A montagem altazimutal é conceitualmente mais simples: o telescópio se move num plano horizontal, chamado plano azimutal, e num plano ortogonal a esse, chamado plano de altitude ou de elevação. Nesse caso a compensação da rotação da Terra requer o movimento de dois motores simultaneamente, um em cada eixo, que devem funcionar com velocidades diferentes e variáveis ao longo de uma sessão de observação.

Na montagem equatorial, um dos eixos do telescópio é alinhado com o eixo de rotação da Terra. Ainda que esse alinhamento possa ser razoavelmente trabalhoso para telescópios portáteis, torna o acompanhamento sideral muito mais simples, pois basta que o telescópio se mova num único eixo, alinhado com o eixo de rotação da Terra, para compensar o giro do planeta. Mais ainda, esse acompanhamento é feito por um motor de velocidade constante e igual para qualquer alvo ou horário de observação.

Até o fim dos anos 1980, os telescópios profissionais eram construídos em montagem equatorial, já que nesse caso um motor girando a velocidade constante e bem controlada pode compensar com eficiência a rotação da Terra. Mas a montagem equatorial é assimétrica, o que traz uma dificuldade

19- Desenho feito por Galileo que reproduz as observações feitas com o primeiro telescópio astronômico. Nesse esboço ele mostra o relevo e as fases da Lua.



séria: a necessidade de alinhar um dos eixos do telescópio com o eixo da Terra faz com que a montagem seja volumosa, complexa, pesada e cara de construir. A partir do início dos anos 1990, com a popularização e com o rápido progresso da informática, foi possível projetar e construir os grandes telescópios com montagem altazimutal, pois processadores cada vez mais rápidos e baratos passaram a permitir o controle em tempo real de motores de velocidades variável em dois eixos. Atualmente todos os grandes telescópios profissionais são construídos com montagem altazimutal, o que faz os projetos do telescópio e de seu prédio mais compactos e baratos.

### 2.3.3 DETECTORES DE LUZ: DAS PRIMEIRAS CÂMERAS AOS CCDs

Ao longo de milênios, o olho humano foi o único detector de luz usado em observações astronômicas. Grandes astrônomos da Antiguidade, como Hiparco de Niceia, fizeram descobertas notáveis sem auxílio de instrumentos ópticos; eles usavam apenas miras e instrumentos de medidas de ângulos como quadrantes ou sextantes.

A partir do início do século 17 o telescópio astronômico tomou forma graças à engenhosidade de Galileo, que adaptou para observações astronômicas um instrumento que já existia para fins militares ou comerciais como a observação de navios ou de soldados à distância. Mas mesmo com o auxílio de telescópios o problema-chave do registro das observações **continuava em aberto: se um astrônomo descobrisse algo interessante no céu, era obrigado a desenhar sua descoberta em papel para relatá-la a seus pares. A questão do registro das observações é fundamental já que apenas por uma imagem de qualidade é que uma descoberta pode ser verificada pela comunidade científica, para ser comprovada ou refutada.**

Como detector da radiação luminosa, a performance do olho humano é admirável: em termos da eficiência na detecção da radiação incidente, a eficiência quântica, o olho humano é bem mais eficiente que os filmes fotográficos que por mais de um século foram os detectores mais utilizados pela ciência em geral. **A eficiência quântica é uma medida da fração da radiação incidente que efetivamente é registrada por um detector: enquanto um filme fotográfico tem eficiência quântica de 2-3%, o olho humano chega a 10%.** Outra característica importante do olho é sua sensibilidade espectral: o olho humano é mais eficiente no amarelo, região espectral em que o Sol emite mais energia, revelando as-



20- Primeira foto da Lua, feita em 1851 por John Adams Whipple usando a técnica chamada daguerreotipo.

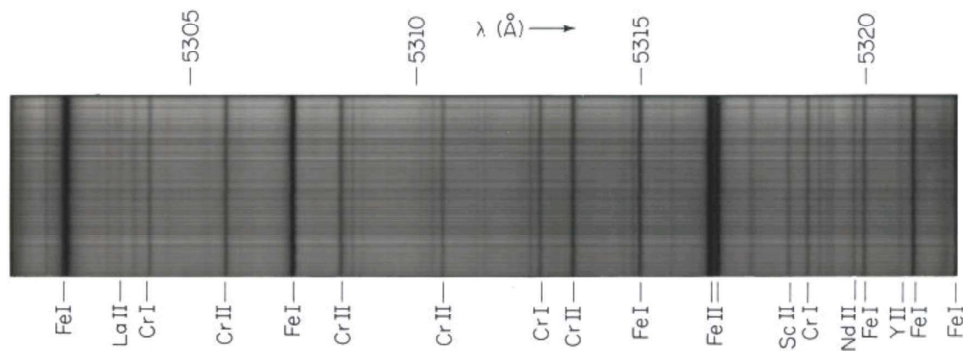
sim o resultado de bilhões de anos de evolução: o olho humano é mais sensível na faixa espectral onde existe mais energia disponível. Outra característica do olho importante para observações astronômicas é sua adaptabilidade à escuridão. O olho é mais sensível em ambientes de baixa luminosidade.

Até meados do século 19 todas as observações astronômicas eram registradas apenas com o olho do observador, que a seguir deveria se valer de suas habilidades gráficas e desenhar o que havia observado pela ocular do telescópio. Essa é uma limitação dramática pela razão simples de que o olho humano não dispõe de ajuste do tempo de exposição! A pupila funciona como um diafragma de câmera fotográfica e pode ficar mais aberta em ambientes de baixa luminosidade ou mais fechada em ambientes muito iluminados, mas a taxa com que a informação é transmitida ao cérebro não se altera. Com qualquer câmera fotográfica, por mais rudimentar que seja, é possível ajustar o tempo de exposição de modo a aumentá-lo para permitir o registro de objetos mais fracos.

A invenção da câmera fotográfica permitiu o registro fiel das observações astronômicas. A fotografia, baseada no princípio de reações químicas que ocorrem numa chapa colocada no plano focal de uma câmera para registrar uma imagem, foi desenvolvida nas primeiras décadas do século 19. Diversas pessoas participaram dessa empreitada, às vezes colaborando entre si, ou concorrendo umas com as outras. Joseph Nicéphore Niépce foi um desses pioneiros: em 1822 ele conseguiu registrar imagens numa superfície tratada quimicamente. Atribui-se a seu colaborador, o pintor e inventor Louis Daguerre, a primeira foto astronômica. Em 1840 Daguerre fez uma imagem da Lua usando um pequeno telescópio. Lamentavelmente, essa imagem não sobreviveu para a história. A primeira fotografia astronômica remanescente é uma imagem da Lua obtida John Adams Whipple, fotógrafo americano. Em colaboração com o astrônomo William Cranch Bond, ele fez, na mesma época, também a primeira imagem de uma estrela, Vega, a mais brilhante da constelação da Lira.

A partir de meados do século 19 a fotografia consolidou-se como a técnica fundamental para o registro de observações astronômicas. Ela permitiu o desenvolvimento da fotometria, a análise rigorosa do fluxo de luz proveniente de qualquer alvo observado no céu como estrelas ou objetos difusos como nebulosas ou galáxias. O emprego de técnicas fotométricas, principalmente quando aliadas a telescópios mais modernos, a partir do início do século 20, permitiu avanços significativos na astronomia. Em 1925, por exemplo, o astrônomo norte-americano Edwin P. Hubble (1899-1953) demonstrou, usando medidas fotométricas precisas, que a chamada “nebulosa de Andrômeda” é uma





21- Trecho do espectro do Sol com diversas linhas de absorção de íons presentes na atmosfera solar (crédito: E. C. Olson, Mt. Wilson Observatory).

galáxia tão grande ou maior que a Via Láctea, a galáxia que abriga o Sistema Solar, o que alterou profundamente a concepção do Universo.

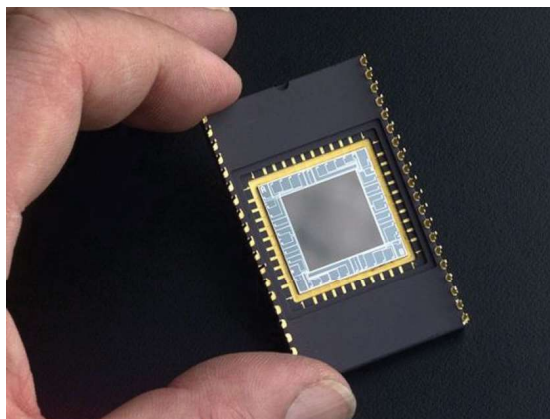
A fotografia passou a ser empregada não só no registro de imagens, mas também na espectroscopia. Utilizada no plano focal da saída do espectrógrafo por tempos de exposição que podiam ser de muitas horas ou mesmo de algumas noites sucessivas, uma câmera fotográfica registrava o espectro do corpo celeste em observação. Os resultados desse procedimento abriram janelas novas na compreensão dos processos físicos que ocorrem nos corpos celestes como o estudo de abundâncias químicas das estrelas, a medida de velocidades radiais estelares, galáxias ou a investigação de atmosferas estelares.

Após mais de um século reinando sozinha como instrumento de registro de imagens astronômicas, a fotografia viu surgir em meados do século 20 os dispositivos eletrônicos como opção para o registro de imagens. Esses dispositivos resultaram do rápido desenvolvimento da eletrônica durante a Segunda Guerra Mundial. Inicialmente surgiram os chamados “tubos de imagem” baseados no princípio da varredura eletrônica. Neste caso a imagem é projetada num plano focal composto de material fotossensível que libera elétrons, que por sua vez são lidos por um processo de varredura. A cada ponto de leitura é lida uma carga elétrica proporcional à intensidade da luz incidente. Esse tipo de dispositivo constrói o análogo eletrônico de uma fotografia clássica onde cada “ponto” da imagem é um grão de material fotossensível que sofre reação fotoquímica com intensidade proporcional à luz incidente.

Em 1948 o transistor foi inventado por John Bardeen, Walter H. Brattain e William B. Shockley. Esse dispositivo serve como “chave” ou como amplificador eletrônico e seu desenvolvimento permitiu a miniaturização e integração dos componentes eletrônicos em escala nunca antes imaginada. Por esse desenvolvimento, seus autores foram reconhecidos com o Prêmio Nobel de Física de 1956.

Em 1969, o Dispositivo de Carga Acoplada (*Charge-Coupled Device* – CCD) foi desenvolvido por Willard Boyle e George E. Smith. Esse dispositivo é um circuito integrado, e portanto “descendente” dos transistores, e funciona como o análogo de um filme fotográfico, com a diferença que, em vez de grãos de um material fotossensível que sofre uma reação fotoquímica, o CCD é uma matriz de fotoelementos. Quando colocado no plano focal de uma câmera, cada elemento do CCD, denominado pixel, acumula uma carga elétrica proporcional à luz incidente, produzindo-se assim uma imagem eletrônica. Por essa conquista com notável impacto em diversas áreas da ciência e da tecnologia modernas, Boyle e Smith receberam o Prêmio Nobel de Física de 2009.

Lucas: que tal um grupo na feira de ciência abordar a questão dos instrumentos na astronomia? olho humano; maquina de tirar foto; fotometria; tubos de imagens; transistor; CCD; CMOS; LSST. Tipo linha do tempo. Muito bacana esta temática.



22- O retângulo central mais claro em um CCD contém os fotoelementos ou pixels, a montagem mais escura abriga os circuitos eletrônicos e no verso estão os conectores elétricos. Colocado no plano focal de um telescópio e dado um tempo de exposição apropriado, o CCD permite obter imagens de objetos milhões de vezes mais fracos que os visíveis a olho nu (crédito: Smithsonian Astrophysical Observatory).



23- Modelo do mosaico de 189 CCDs que equipará a câmera de 3.200 mega-pixels do LSST, cujo plano focal terá 64 cm de lado. A imagem da Lua mostra qual será a escala do plano focal do telescópio (crédito: LSST Corporation).

A partir dos anos 1980, os CCDs começaram a ser largamente empregados em astronomia, substituindo os filmes fotográficos como elemento de registro de imagens. Isso ocorreu porque os CCDs têm inúmeras vantagens sobre os filmes: são mais sensíveis, têm eficiência quântica maior e operam em faixas dinâmicas mais amplas. Além disso, imagens eletrônicas podem ser analisadas, impressas, armazenadas, transmitidas e exibidas usando exclusivamente meios digitais, dispensando processamento químico.

A partir de meados dos anos 1990 as câmeras fotográficas digitais popularizaram-se e a produção de CCDs explodiu, bem como a dos CMOS, seus similares. Agora, câmeras relativamente baratas, e mesmo telefones celulares, têm detectores digitais com performances que até recentemente estavam restritas a equipamentos profissionais de alto custo.

Atualmente, mosaicos compostos por vários detectores CCDs estão em desenvolvimento para equipar novos telescópios. O projeto LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*) é um exemplo disso. Trata-se de um telescópio de 8,4 metros de diâmetro em construção nos Andes chilenos e, quando estiver concluído, em 2015, fará um levantamento fotográfico de todo o céu visível daquele local ao final de poucas noites. Esse telescópio será equipado com a maior câmera CCD do mundo: um mosaico totalizando 3.200 megapixels.

#### 2.3.4 RADIOTELESCÓPIOS

A informação que chega até a Terra proveniente de corpos celestes não se limita à faixa visível do espectro eletromagnético. A faixa das ondas de rádio, por exemplo, começou a ser explorada na astronomia a partir de 1931, quando Karl G. Jansky construiu a primeira antena tipo “prato” com o objetivo inicial de procurar as origens de interferências detectadas em emissões comerciais de radiotelefone. Essa antena pioneira operava na frequência de 20.5 MHz. Com ela foi possível obter pela primeira vez a emissão em rádio do disco da Via Láctea, com intensidade máxima registrada na direção da constelação de Sagitário, onde está o centro da Galáxia. O rápido desenvolvimento da tecnologia de radar durante a Segunda Guerra Mundial foi posteriormente aplicado à radioastronomia, que experimentou um rápido crescimento no pós-guerra.

Comparada com a faixa óptica, a janela das ondas de rádio do espectro eletromagnético é muito



24- Antena de 40 m do Rádio-observatório de Owens Valley, nos Estados Unidos (crédito: Owens Valley Radio Observatory).



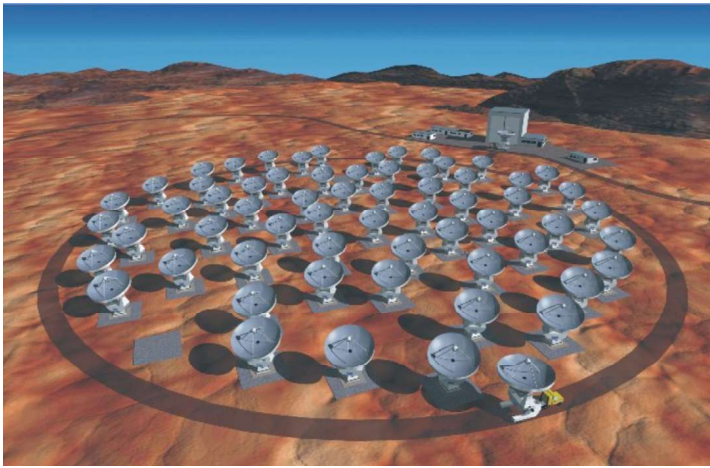
25- Radiointerferômetro VLA (Very Large Array), localizado no Novo México, Estados Unidos (crédito: David Finley - NRAO).

mais larga, estendendo-se das ondas milimétricas, com frequências na faixa dos GHz, até comprimentos de onda de dezenas de metros. Para as regiões espectrais de comprimentos de onda mais longos, entre 3 e 30 metros, que corresponde a frequências de 10 a 100 MHz, são usadas antenas direcionais similares às antenas de televisão comerciais. Já para comprimentos de ondas menores são empregadas antenas tipo “prato”, similares às parabólicas comerciais, mas com diâmetros muito maiores, podendo chegar a uma centena de metros.

Uma técnica extremamente poderosa usada em radioastronomia é a chamada radiointerferometria. Esse recurso consiste em captar sinais de uma mesma fonte astronômica por um conjunto de antenas, normalmente algumas dezenas, espalhadas num arranjo pré-estabelecido que pode ser unidimensional, ou em forma de “Y” ou ainda num arranjo mais complexo. O sinal de cada uma das antenas é transportado por cabos coaxiais ou fibras ópticas até um centro de análise onde são superpostos, ou seja, combinados levando-se em conta suas intensidades e fases.

Esse tipo de medida permite aumentar a intensidade do sinal medido, mas sua importância fundamental é que através de uma técnica denominada “síntese de abertura” permite reconstruir a imagem da fonte que está sendo observada com imensa resolução angular. Essa técnica permite resultados equivalentes em resolução angular a um telescópio virtual cujo diâmetro corresponde à separação entre as antenas mais distantes do conjunto e permite visualizar detalhes da ordem de milésimos de segundo de arco.

Um dos mais ambiciosos projetos de radiotelescópios atualmente em desenvolvimento é o ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*), em construção no norte do Chile, em um dos sítios mais elevados e secos de todo o mundo, o Planalto de Chajnantor, a 5.200 m acima do nível do mar no altiplano andino. O ALMA pertence a um consórcio de vários países e é formado por um conjunto de 66 radiotelescópios, cada um deles com 12 m de diâmetro, operam na faixa das ondas milimétricas, mas atuando como interferômetro. Os sinais individuais das antenas serão correlacionados de forma a que o conjunto todo opere como se fosse um único radiotelescópio gigante. Com a conclusão prevista para 2013, o ALMA será o maior e mais sensível radiointerferômetro do mundo e suas antenas individuais poderão ser posicionadas em distintos arranjos, conforme a exigência de cada pesquisa.



26- Concepção artística do projeto ALMA, visto aqui em sua configuração compacta. Nas configurações estendidas as antenas podem se afastar muito mais umas das outras, chegando até a 16 km de extensão em seu eixo maior (crédito: ALMA/European Southern Observatory).



27- Foto do Telescópio Espacial Hubble feita pela tripulação do Space Shuttle Atlantis em maio de 2009, durante a quinta e última missão de reparo (crédito: NASA).

### 2.3.5 TELESCÓPIOS NO ESPAÇO

Desde o início dos lançamentos de satélites artificiais no final dos anos 1950, ficou claro que uma nova janela de observação se abria para a astronomia. Sem a interferência da atmosfera da Terra é possível observar faixas do espectro eletromagnético às quais a atmosfera é opaca, como as regiões do ultravioleta, dos raios X, dos raios gama ou das ondas de rádio milimétricas. Além disso, mesmo nas faixas em que a atmosfera é transparente, como a região visível, observações acima da atmosfera não sofrem os efeitos de turbulência, emissão ou absorção de radiação.

O primeiro observatório espacial foi o satélite Ariel 1, da Grã-Bretanha, lançado em 1962 e destinado a medir emissões de raios X e ultravioleta solares. Daí em diante, dezenas de satélites destinados a observações astronômicas foram projetados e lançados. Ao longo das últimas décadas diversos satélites se tornaram muito conhecidos dentro da comunidade astronômica. O satélite IUE (*International Ultraviolet Explorer*), destinado a investigar a região ultravioleta do espectro, entre 120 e 320 nanômetros, operou de 1978 a 1995 e, a partir de seus resultados, milhares de artigos científicos foram publicados. Outro satélite importante foi o IRAS (*Infrared Astronomical Satellite*), que operou apenas no ano de 1983. Com ele foi feito o primeiro levantamento de todo o céu na faixa do infravermelho, entre 12 e 100  $\mu\text{m}$ .

Um dos telescópios espaciais mais conhecidos é o *Hubble Space Telescope*, lançado pela Nasa em 1990, que é um dos equipamentos astronômicos com maior produção de resultados científicos. Com a missão de serviço executada em 2009 espera-se que o Hubble mantenha-se ativo até a entrada em operação do Telescópio Espacial James Webb, previsto para ser lançado no final desta década.

Atualmente diversos observatórios espaciais estão em operação e outros tantos em fase de projeto. Um dos mais instigantes é o satélite Gaia, que deverá operar entre 2013 e 2018. Ele vai determinar posições e distâncias de estrelas com precisão até milhares de anos-luz do sol. Esses resultados permitirão que se obtenha pela primeira vez uma visão tridimensional da Galáxia, resultado essencial para o progresso de diversas áreas da astronomia pois possibilitará a calibração de diversos parâmetros básicos usados em distintas áreas da astronomia.



28- Vista aérea de Stonehenge, observatório megalítico construído na Inglaterra entre os anos 2400 e 2200 a.C.. A orientação das pedras permite a determinação das datas dos solstícios e equinócios (crédito: University of California – Irvine).



29- Templo-observatório de Chichén Itzá, em Yucatan, sul do México, construído pelos maias ao redor do ano 1000 d.C. (crédito: Wikimedia Commons).



30- Radiobservatório de Arecibo, em Porto Rico, o maior radiotelescópio de prato único do mundo, com 306 m de diâmetro (crédito: Wikimedia Commons).

### 2.3.6 OBSERVATÓRIOS ASTRONÔMICOS

Observatórios astronômicos são bases de operação em que são instalados conjuntos de telescópios. Ruínas de diversos observatórios astronômicos muito antigos ainda podem ser encontradas no mundo. Inicialmente destinados a observações do Sol para fins de definição das estações do ano, os observatórios mais antigos têm milhares de anos. Stonehenge, na Inglaterra, é um dos mais velhos; tão antigo quanto as pirâmides do Egito. Outros observatórios históricos podem ser encontrados em lugares como Chichén Itzá no México, Chankillo no Peru, Newgrange na Irlanda ou Rujm-el-Hiri em Israel.

Observatórios têm um conjunto de pontos em comum: por razões óbvias, ficam afastados de fonte de luz artificiais como cidades, rodovias ou parques industriais. Devido aos altos custos de construção de estradas e instalações técnicas de apoio, normalmente um observatório reúne diversos telescópios no mesmo sítio, ou em sítios próximos.

Mas uma distinção básica deve ser feita entre radiobservatórios e observatórios ópticos: observações astronômicas na faixa das ondas de rádio não requerem instalações de montanha como ocorre com observatórios ópticos. Ao contrário, normalmente os radiobservatórios são instalados em vales ou planícies, em locais tão isolados quanto possível de emissões de rádio artificiais. A instalação em fundo de vales reforça o isolamento de emissões geradas por rádio e televisão comerciais, telefonia e radares.

Devido aos efeitos produzidos pela atmosfera da Terra sobre as imagens astronômicas, observatórios ópticos são instalados em montanhas, de preferência no mínimo a dois mil metros acima do nível do mar. Além disso, os locais preferidos são aqueles com baixa umidade do ar, portanto com baixos índices de chuva ao longo do ano. Reunindo todos estes critérios, poucos são os locais considerados ideais para observatórios astronômicos, e por isto mesmo muitos deles estão próximos uns dos outros. O caso mais evidente é o norte do Chile, nas bordas do Deserto de Atacama, um dos lugares mais secos do mundo, situado na pré-cordilheira andina, onde montanhas de dois mil metros ou mais são comuns. Nessa região estão instalados alguns dos mais modernos telescópios do mundo, em diversos observatórios. Estão instalados nesta região há décadas o Observatório Interamericano de Cerro Tololo (CTIO), o Observatório Europeu Austral (ESO) e o Observatório de Las Campa-



31- Vista aérea do Observatório Interamericano de Cerro Tololo (crédito: NOAO).



32- Os quatro telescópios de 8 m de diâmetro que compõem o Very Large Telescope (VLT) do ESO, localizados no topo do Cerro Paranal, no Chile (crédito: ESO).



33- Observatório do Monte Mauna Kea, no Haváí. Entre os mais importantes telescópios pode-se ver em primeiro plano o telescópio Canadá-França-Haváí de 3,6m, um pouco à esquerda está o domo prateado do telescópio Gemini Norte, de 8 m de diâmetro. Na direita ao fundo os domos gêmeos dos telescópios Keck, com 10m de diâmetro cada, e mais distante o domo cilíndrico escuro do telescópio Subaru, de 8,2 m (crédito: NOAO).

nas. Posteriormente chegaram, nessa região, o Observatório do Cerro Paranal, operado pelo ESO, os telescópios do Cerro Pachón, uma extensão do CTIO, e o observatório milimétrico ALMA.

Ilhas oceânicas também são locais privilegiados para a instalação de telescópios astronômicos, pois sem as massas de terra continentais o fluxo do ar é menos turbulento, melhorando a qualidade das imagens. Entre os observatórios instalados em ilhas destaca-se o Observatório de Mauna Kea, no Haváí. Sua elevação, 4.200 metros acima do nível do mar, torna esse observatório um dos mais importantes do mundo, pois nesta altitude é possível fazer-se observações na faixa do infravermelho, impossíveis a partir do nível do mar.

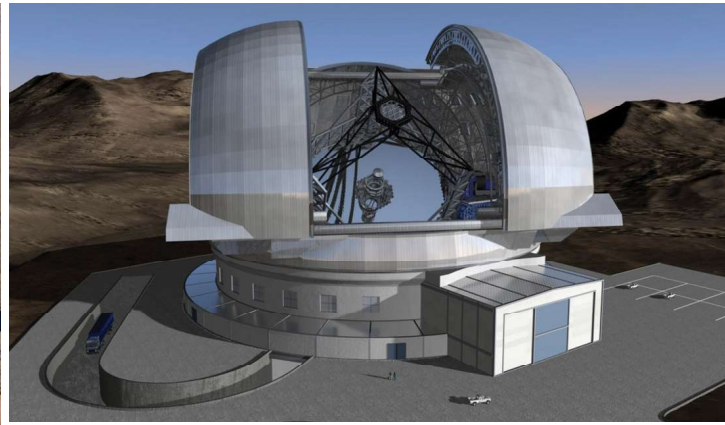
Outro importante observatório instalado numa ilha é o de Roque de Los Muchachos, na ilha de La Palma, arquipélago das Ilhas Canárias, território espanhol. Nele estão alguns dos mais importantes telescópios construídos por países europeus, entre eles o Gran Telescópio de Canárias, com 10,4 metros de diâmetro.

O Brasil, apesar de sua grande extensão territorial, não tem um local ideal para um grande observatório astronômico. E isso pela ausência de altitude mínima de 2000 acima do nível do mar, com ambiente seco. Ainda assim, alguns sítios são razoáveis para esse fim, como ocorre com o Pico dos Dias, no sudeste de Minas Gerais, próximo às cidades de Brasópolis e Itajubá, onde a astronomia brasileira deu um passo fundamental, a partir do final dos anos 1970, com a instalação do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA). Esse foi o primeiro observatório brasileiro capaz de produzir dados científicos nos padrões profissionais modernos. O observatório está equipado com um telescópio de 1,60 m e dois instrumentos de 0,60 m.

Já nos anos 1990, no entanto, ficou evidente que telescópios maiores eram necessários para garantir aos astrônomos brasileiros o acesso continuado a instrumentos competitivos, comparados aos melhores do mundo. Nessa época o Brasil decidiu investir em dois projetos fundamentais: o telescópio SOAR, com 4,2 m de diâmetro, e o par de telescópios Gemini, um deles localizado no Chile e o outro no Haváí, com 8 m de diâmetro cada. O SOAR é um projeto em cujo desenvolvimento e construção muitos astrônomos brasileiros estiveram envolvidos. O telescópio está instalado no Cerro Pachón, no norte do Chile, a mesma montanha onde está instalado o Gemini Sul. Ambos equipamentos são geridos e operados por consórcios de que o Brasil faz parte e astrônomos brasileiros fazem observações em ambos os sítios regularmente.



34- Telescópios Gemini Sul (à frente) e SOAR (ao fundo) localizados no Cerro Pachón, Chile. O Brasil é sócio dos consórcios que operam ambos os telescópios (crédito: SOAR Telescope)



35- Concepção artística do E-ELT, cujo espelho primário será composto por um mosaico de 984 segmentos hexagonais, cada um com 1,45 m de extensão e apenas 5 cm de espessura. O prédio terá cerca de 90 metros de altura e 90 metros de diâmetro (crédito: ESO).

Como serão os telescópios do futuro? Os projetos em desenvolvimento permitem antever como serão os telescópios das próximas décadas: já estão em andamento projetos de construção de telescópios na faixa de 30 a 40 metros de diâmetro que devem ser a vanguarda da astronomia observacional a partir de 2020 aproximadamente.

Vários desses projetos estão consolidados ou em fase final de revisão ou estágio inicial de construção. Entre eles estão o E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), um telescópio de 42 metros de diâmetro a ser instalado no Chile que está sendo projetado por um consórcio de países europeus. Outro projeto em fase adiantada é o TMT (*Thirty Meter Telescope*) que como o nome diz se trata de um telescópio de trinta metros de diâmetro projetado e construído por um grupo de instituições de pesquisa dos Estados Unidos e Canadá, que será instalado no Monte Mauna Kea, no Haváí. O GMT (*Giant Magellan Telescope*) será um telescópio composto por sete espelhos de 8,4 metros de diâmetro alinhados num foco comum, com desempenho equivalente ao de um telescópio de 24,5 metros de diâmetro; ele será instalado em Las Campanas, no Chile, e pertence a um grupo de instituições de diversos países, liderados pelos Estados Unidos.

Todos esses telescópios têm o início de suas operações de pesquisa previsto para 2018-2020 aproximadamente e deverão ser os instrumentos mais importantes das próximas décadas para a astronomia observacional na faixa óptica. Mas, o que deverá vir em seguida? Aí só se pode especular: fala-se em telescópios na faixa dos cem metros de diâmetro instalados no lado oculto da Lua, ou então de telescópios no espaço, bem afastados da Terra, com dezenas de metros de diâmetro. Isso para não falar em sistemas interferométricos compostos por grupos de telescópios, cada um também com dezenas de metros de diâmetro, separados por quilômetros entre si e com foco comum. Um sistema assim só poderia funcionar no espaço e teria resolução equivalente ao de um telescópio com diâmetro igual à separação das unidades mais separadas como em qualquer interferômetro, ou seja, quilômetros de diâmetro! O que um instrumento assim poderá fazer desafia a imaginação.