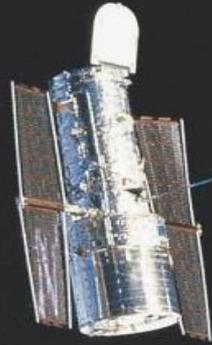


# Telescópios Ópticos



**HST – Hubble Space Telescope**

telescópios de 2,4 m de diâmetro  
Órbita a 600 km da superfície da  $\oplus$

**VLT – VERY LARGE TELESCOPE**

Conjunto de 4 telescópios de  
8,2 m de diâmetro +  
4 telescópios móveis de 1,8 m  
de diâmetro

Adaptado do curso  
AGA0215 da Profa. Thais Idiart

# Telescópios Ópticos

**Duas categorias:**

**Refratores - LENTES**

**Refletores - ESPELHOS**

# Telescópios Refratores

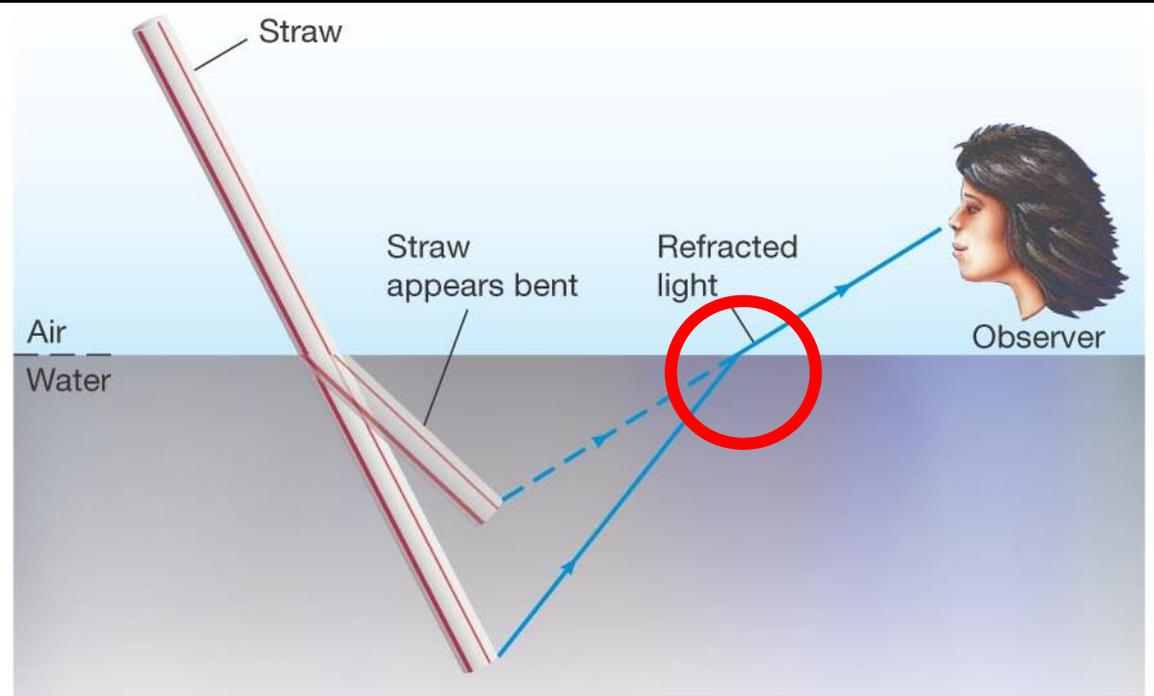
## CONSTRUÇÃO DE UMA LENTE

### Princípio da refração

1) Mudança de direção da luz quando atravessa diferentes meios



(a)



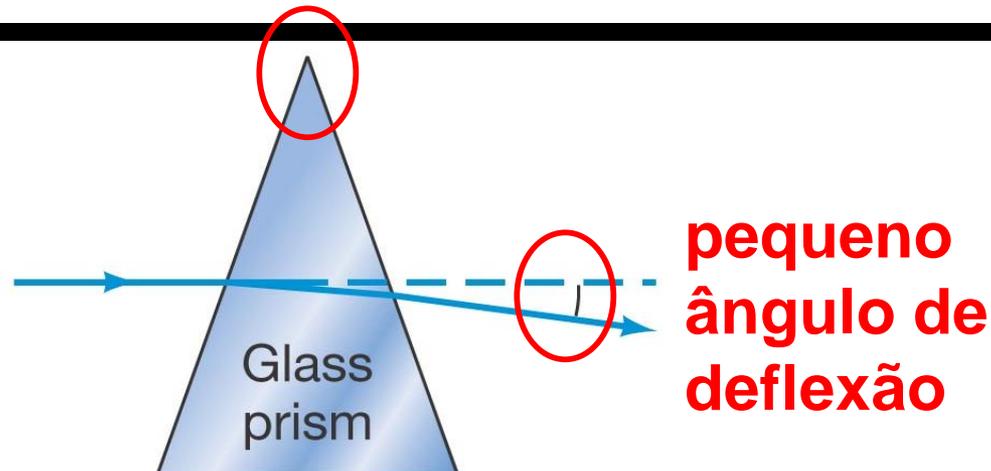
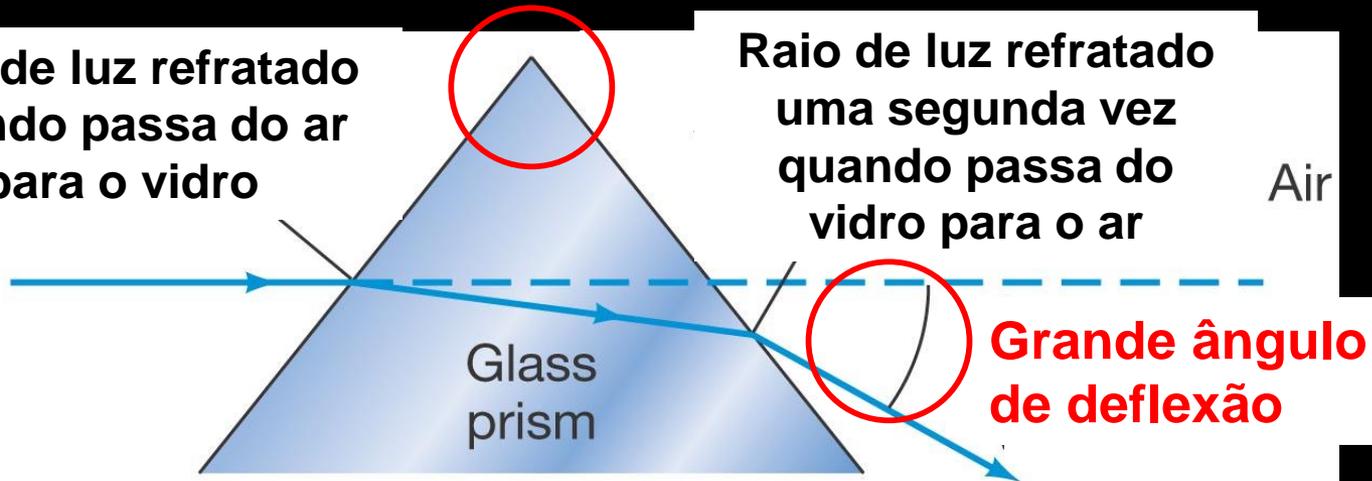
(b)

## 2) Em um prisma o ângulo de refração depende do ângulo entre suas faces.

Raio de luz refratado quando passa do ar para o vidro

Raio de luz refratado uma segunda vez quando passa do vidro para o ar

Air



**LENTE = CONJUNTO DE PRISMAS**

Incoming  
light rays

**LENTE REFRACTORAS:  
CONCENTRAM OS RAIOS DE  
LUZ ATRAVÉS DA REFRAÇÃO.**

**FOCO**

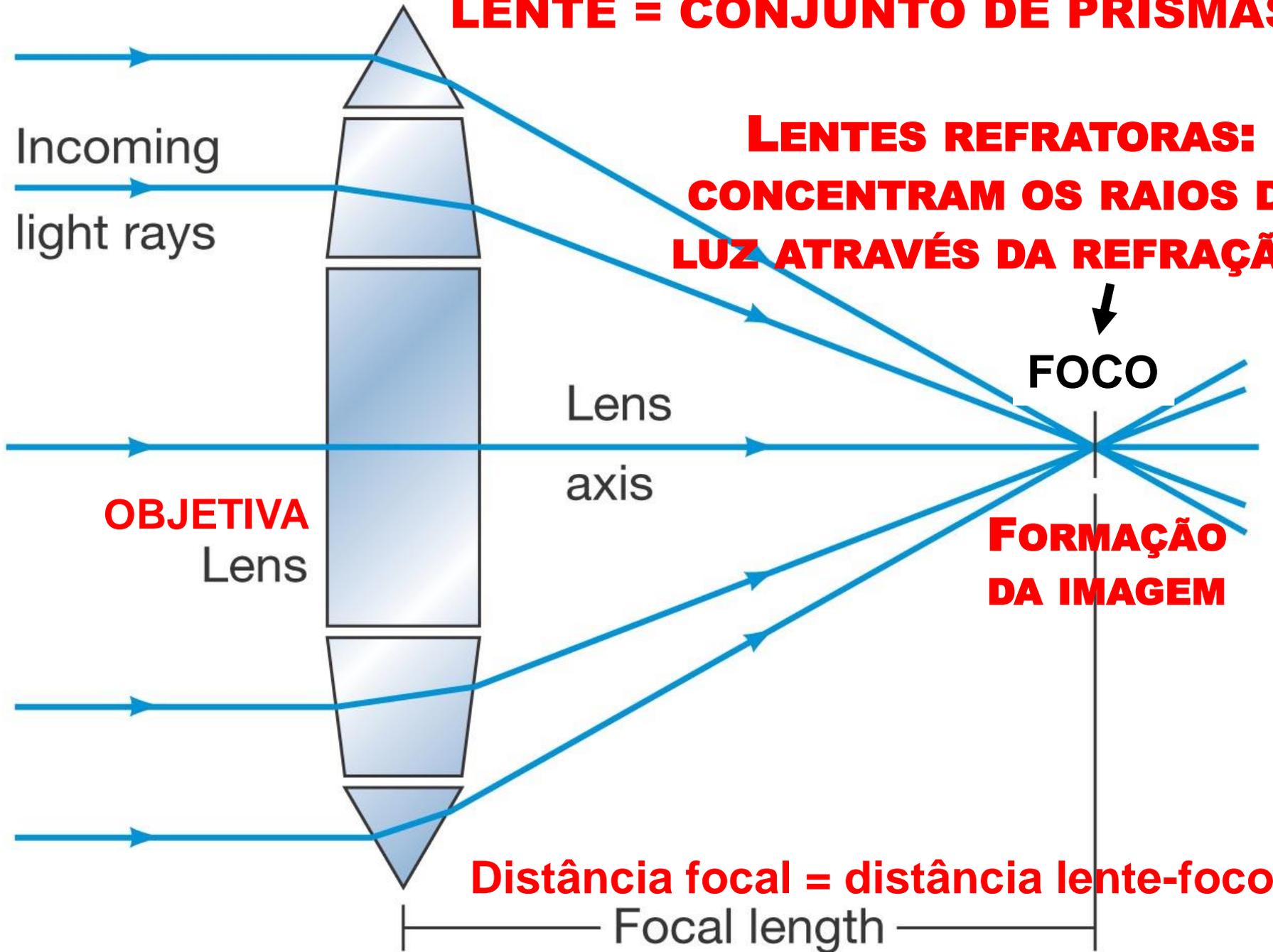
Lens  
axis

**OBJETIVA**  
Lens

**FORMAÇÃO  
DA IMAGEM**

**Distância focal = distância lente-foco)**

Focal length

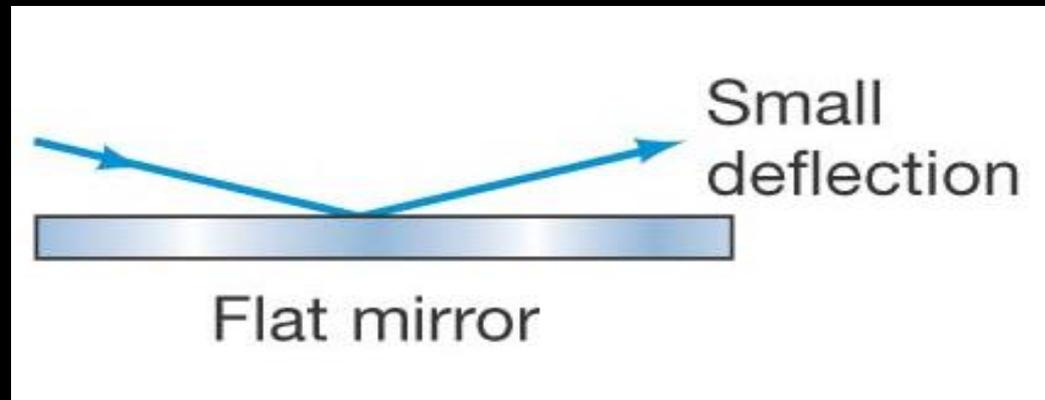
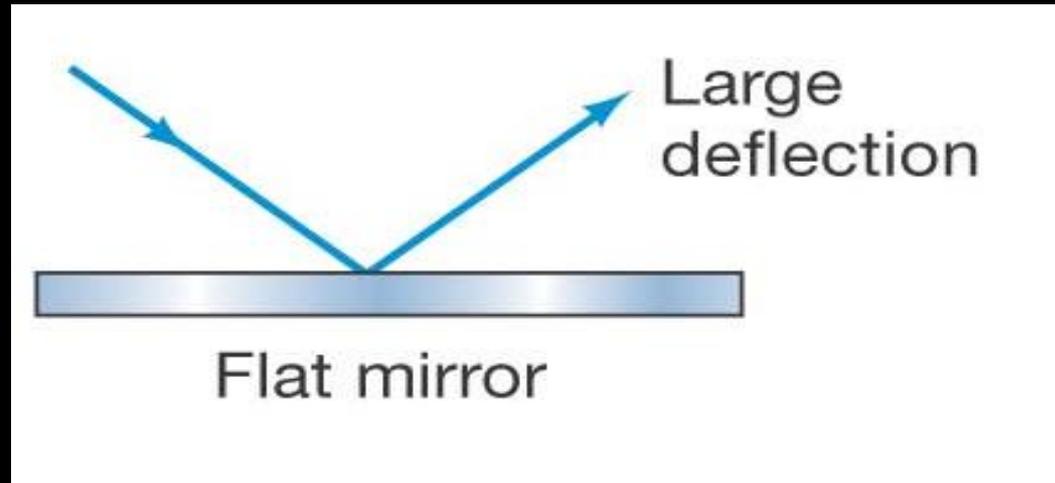


# Telescópios Refletores

## UTILIZAÇÃO DE UM ESPELHO

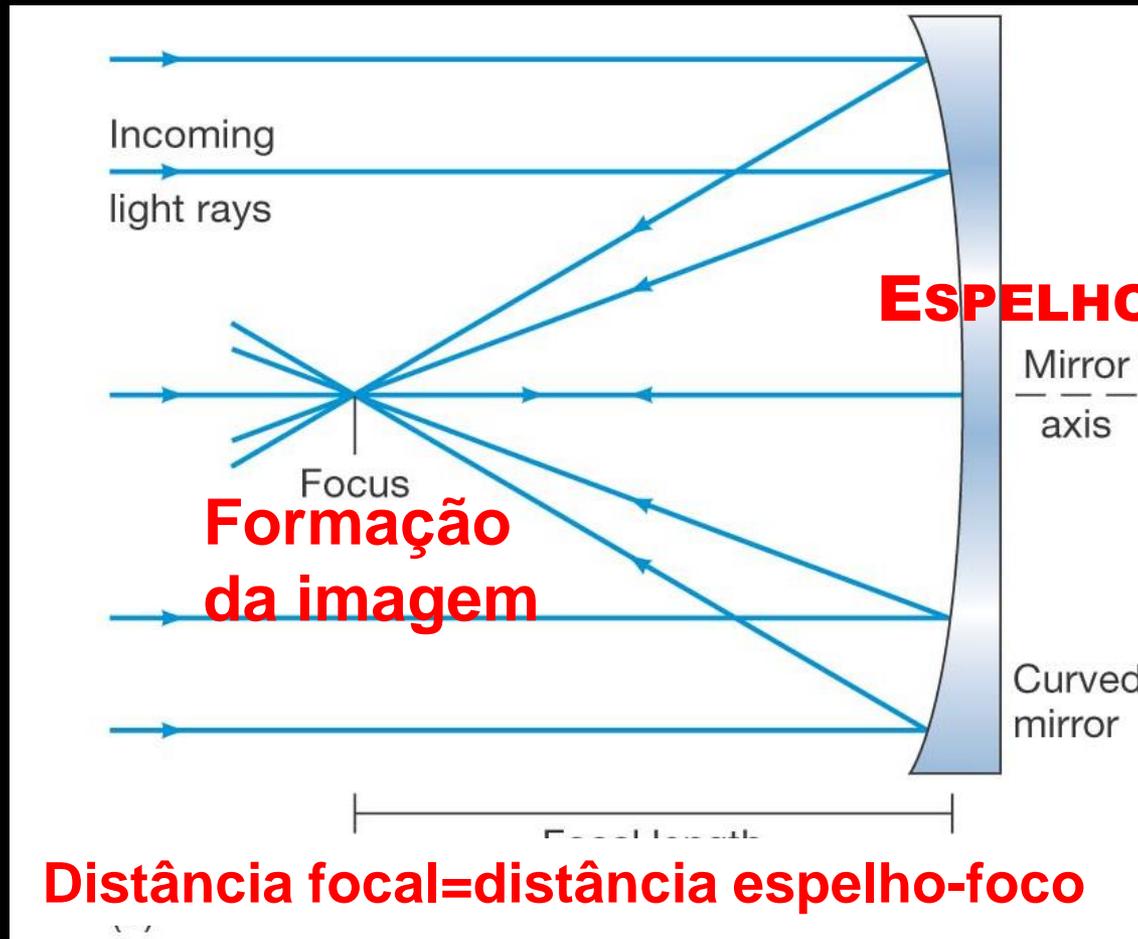
### PRINCÍPIO DA REFLEXÃO

Reflexão depende  
do ângulo de  
incidência da luz



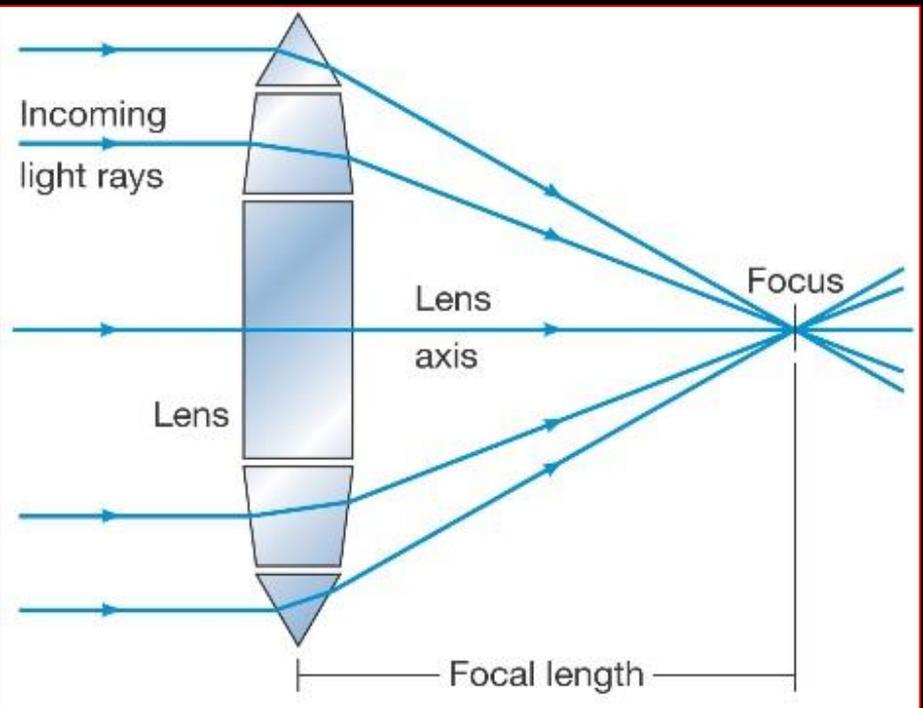
# Telescópios Refletores

Espelho curvo: concentra os raios de luz através da reflexão em ângulos diferentes

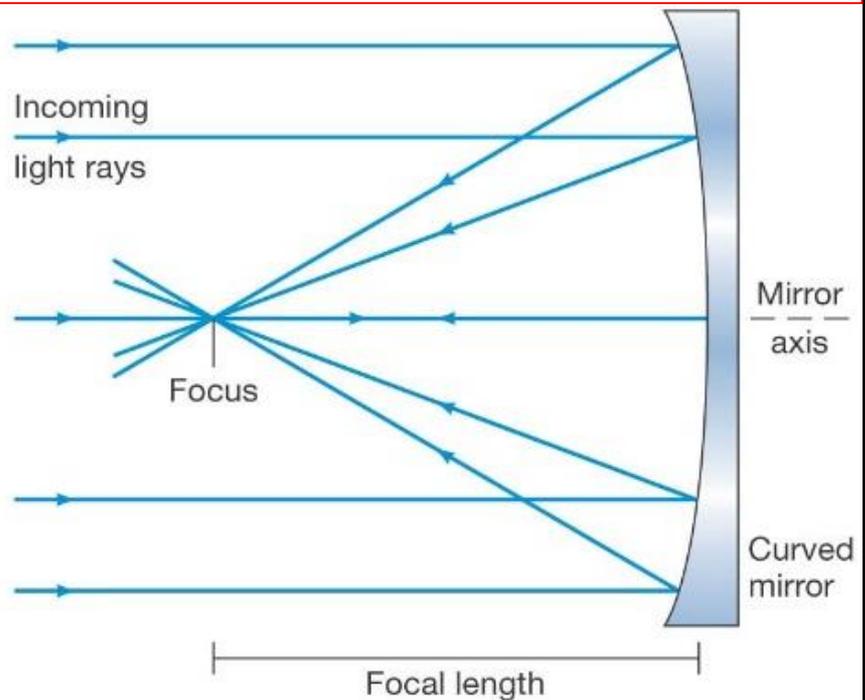


# Duas quantidades: tamanho e distância focal

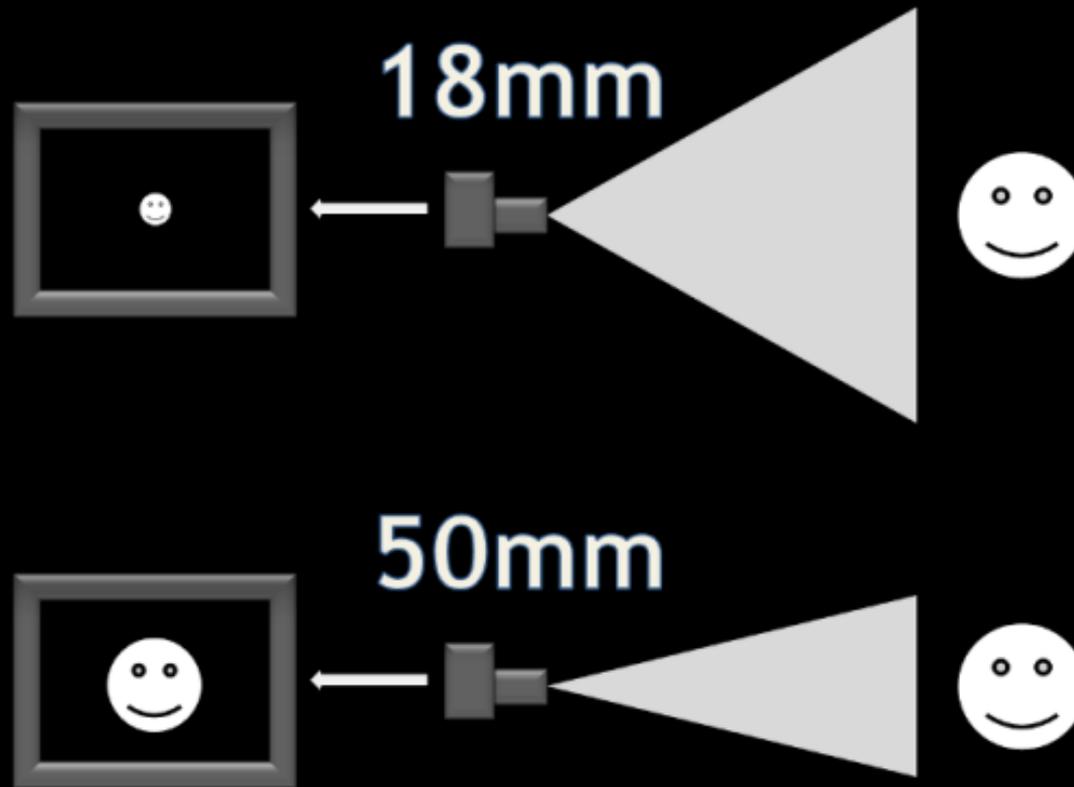
**Refrator: distância focal e  
diâmetro da lente**



**Refletor: distância focal e  
diâmetro do espelho**



**1) Quanto maior DF = menor o ângulo de visão  
(menor o campo de visão = maior aproximação da  
imagem)**



**2) Quanto maior D = maior a coleta de luz**

## RAZÃO FOCAL

$$F = DF / D$$

Ex. :

DF=1m; D=20cm

$$F = \frac{DF}{D} = \frac{1}{0,2} = 5$$

Notação : f/5

## RAZÃO FOCAL

$$F = DF / D$$

- Razões focais menores ( $\leq f/6$ ) são de melhor proveito para observações de objetos mais fracos, como nebulosas e galáxias.
- Razões focais maiores ( $\geq f/10$ ) são indicadas para a observação de objetos mais luminosos, como Lua e planetas.

**Deve-se considerar sempre as duas variáveis: distância focal e diâmetro da lente/espelho**

# Telescópios Refletores

## objeto extenso

**Imagem é formada ao redor do foco primário**

Distant source

**Luz vinda de diferentes pontos de um objeto**

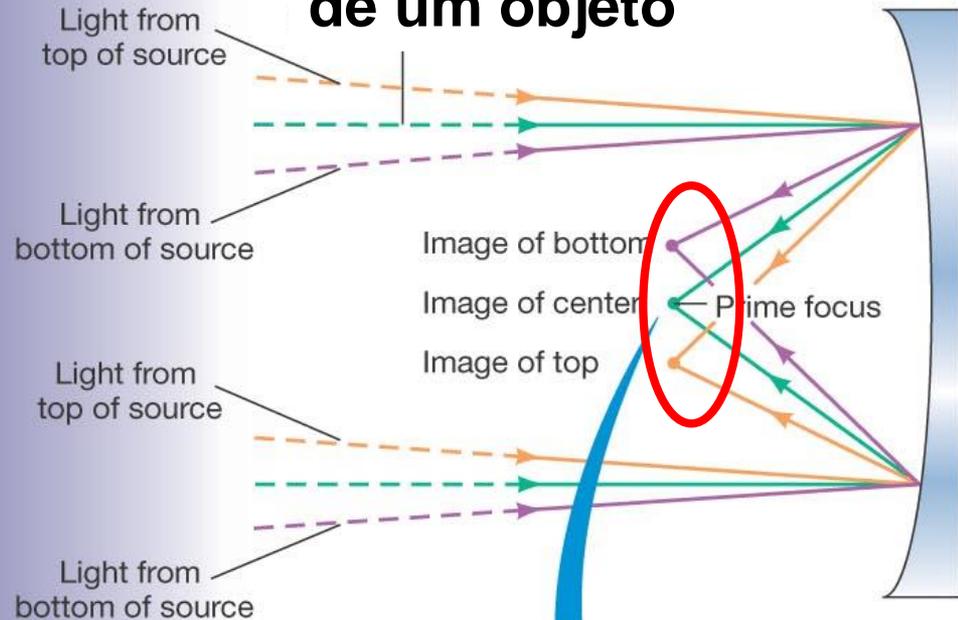
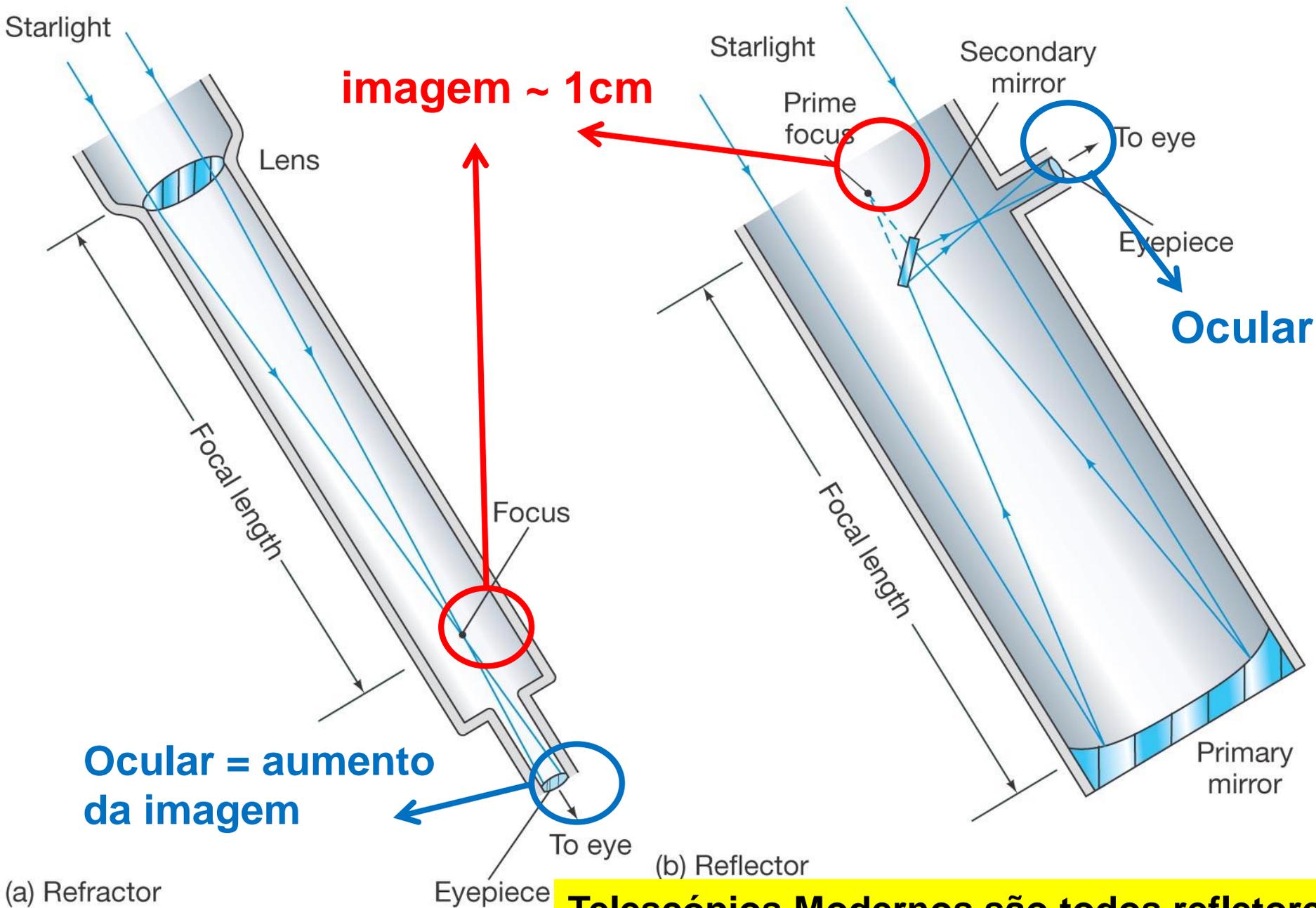


Image formed

**Imagem invertida**



# Telescópios refletores e refratores:



Ocular = aumento da imagem

Telescópios Modernos são todos refletores

(a) Refractor

(b) Reflector

# AMPLIAÇÃO ou AUMENTO

Um dos fatores menos importantes na compra de um telescópio é o poder de ampliação. O poder de ampliação, de um telescópio é a relação entre dois sistemas independentes de ótica: 1) o telescópio em si, e 2) a ocular

Ampliação = distância focal da objetiva(espelho primário) (mm)/distância focal da ocular(mm)

**Ex. um telescópio de DF=2032 mm com uma ocular de distância focal de 10 mm, dá uma ampliação de :  $A=203x$**

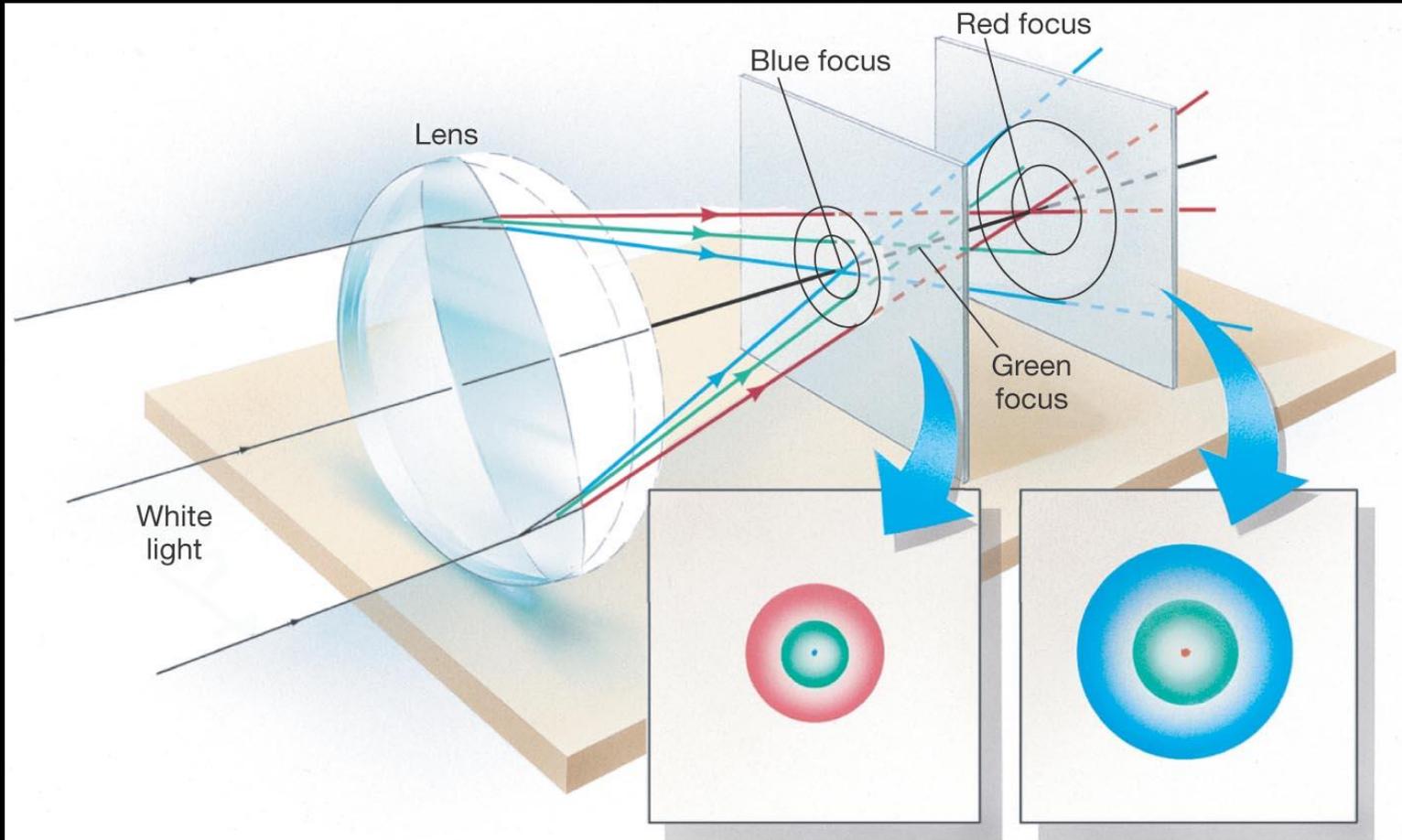
Como as oculares são intercambiáveis, um telescópio pode ser usado em uma variedade de ampliações para diferentes aplicações.

# ABERRAÇÕES ÓPTICAS

Uma aberração óptica se refere a uma **característica intrínseca de um sistema óptico**, que resulta na formação de uma imagem imperfeita de um dado objeto, ou seja, uma imagem que não é semelhante ao objeto.

# ABERRAÇÃO CROMÁTICA

o ângulo de refração varia com o comprimento de onda (não ocorre com espelhos)



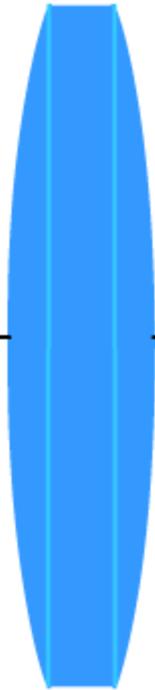
efeito pode ser reduzido combinando lentes de diferentes distâncias focais ou diferentes materiais

# ABERRAÇÃO CROMÁTICA

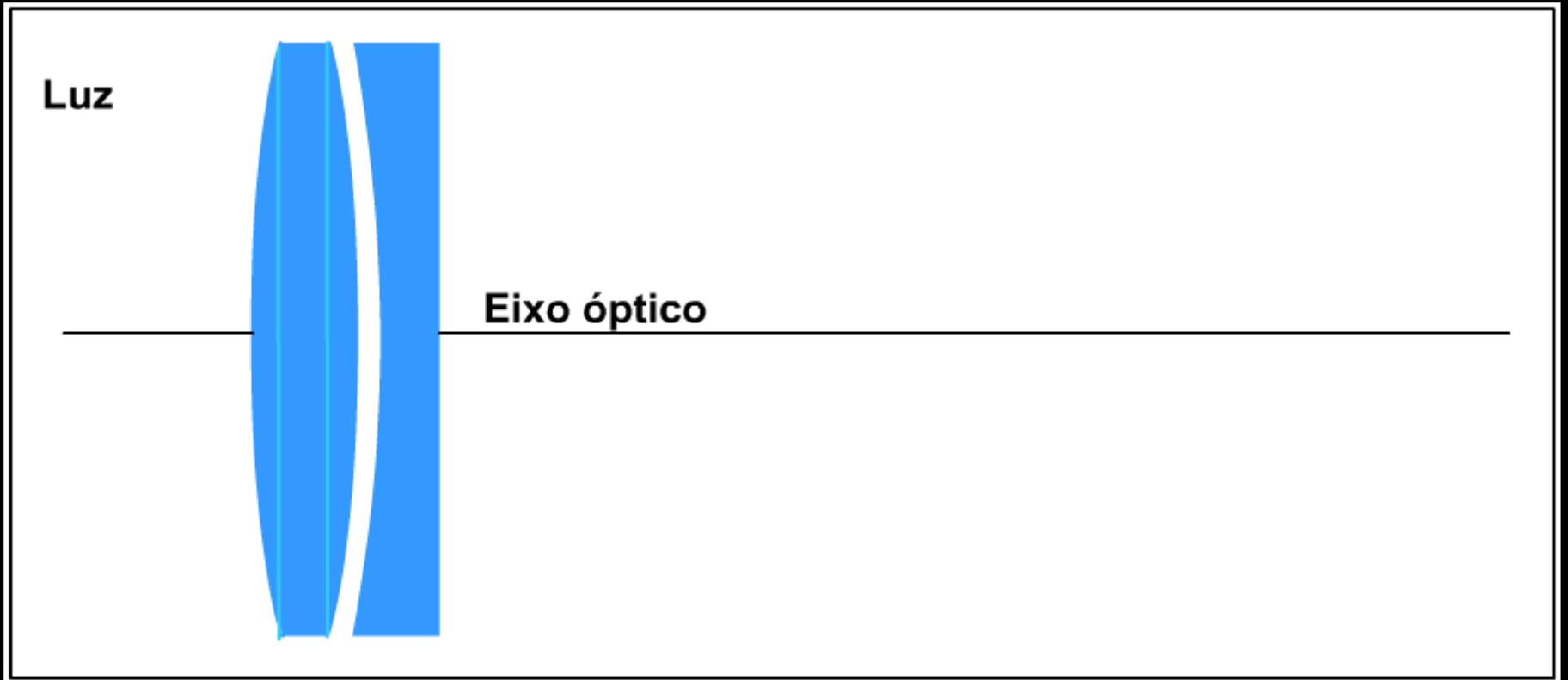
Luz

Eixo óptico

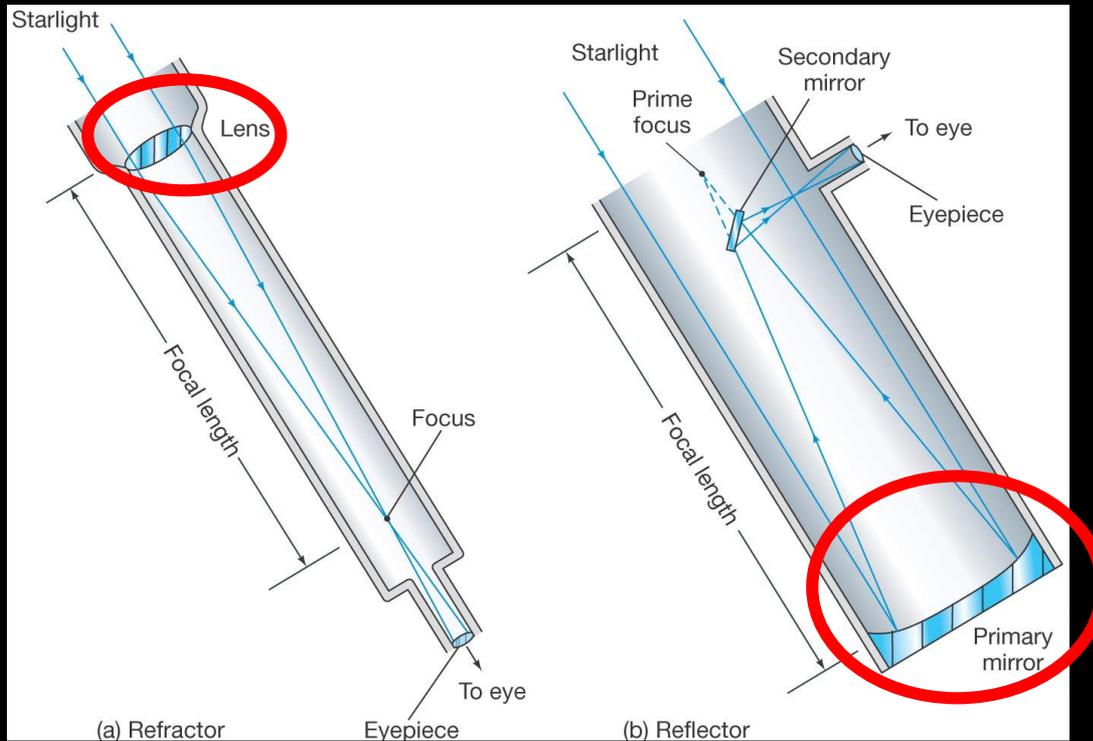
Outras cores



# CORREÇÃO DA ABERRAÇÃO CROMÁTICA



- Luz é absorvida parcialmente quando passa pelas lentes (pior para radiação UV e IR onde ocorre maior absorção pelo vidro) (não ocorre com espelhos)
- Lentes maiores podem ser muito pesadas e podem somente ser sustentadas pelas suas bordas



- Uma lente tem duas superfícies que devem ser montadas e polidas (manutenção mais difícil), o espelho só tem uma.

# Telescópios Refratores

- **muito difícil corrigir aberração cromática para diâmetros maiores do que 30 cm**
- **telescópios com  $D > 1\text{m}$  são impraticáveis, pois requerem longos tubos e sofrem de aberração.**



Maior refrator construído:  
**Yerkes (1896)**  
(Wisconsin – USA)

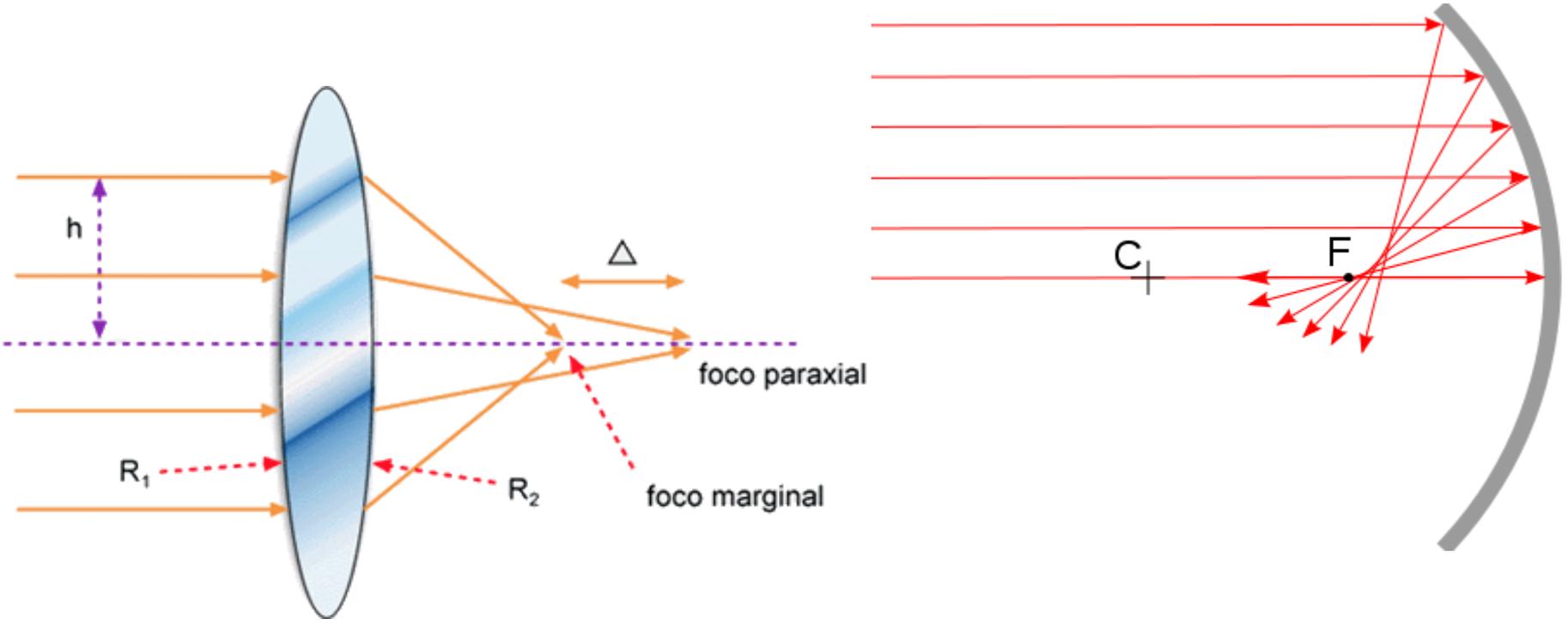
**40'' = 1 m de diâmetro**

A construção deste telescópio se revelou ser o limite da tecnologia dos refratores: o par de lentes objetivas é muito pesado e tende a se deformar pelo seu próprio peso.

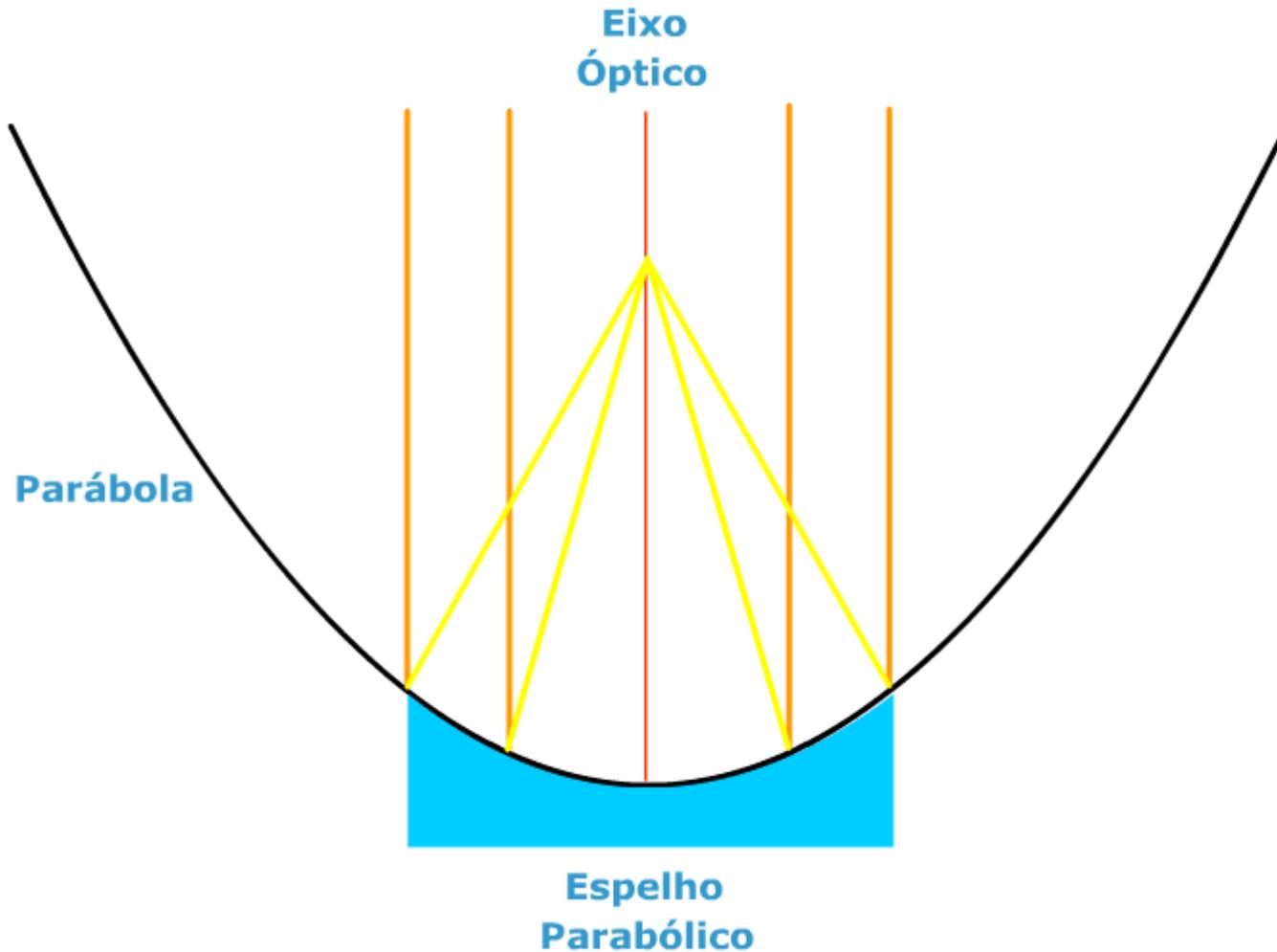
Além disso, ele é muito espesso e absorve uma fração considerável da luz incidente.

# ABERRAÇÃO ESFÉRICA

Para superfícies coletoras com simetria esférica  $\Rightarrow$  foco se forma mais perto da lente/espelho para feixes de luz que incidem nas bordas da(o) mesma(o).



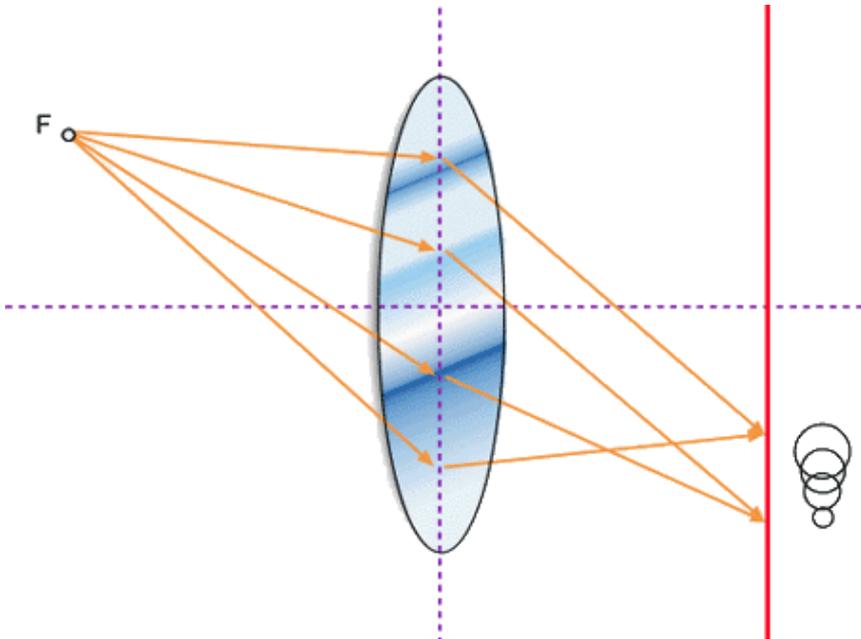
**Pode ser corrigida com superfícies parabólicas ou hiperbólicas  $\Rightarrow$  superfícies menos curvadas nas bordas**



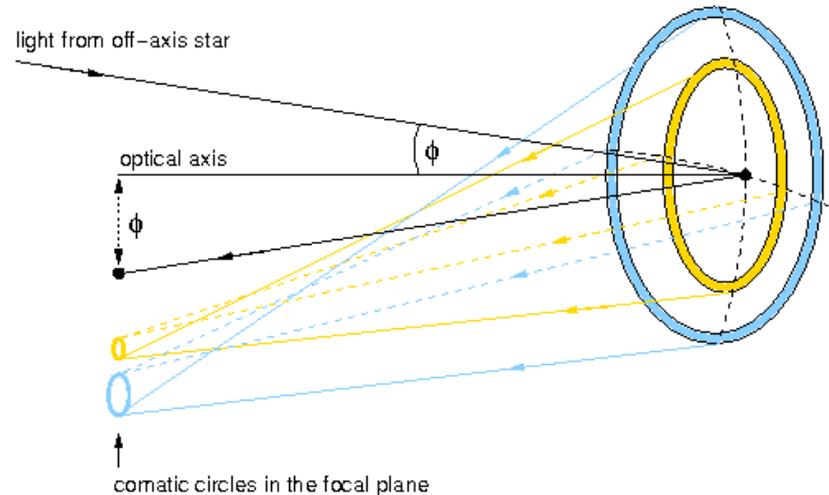
# ABERRAÇÃO DE COMA:

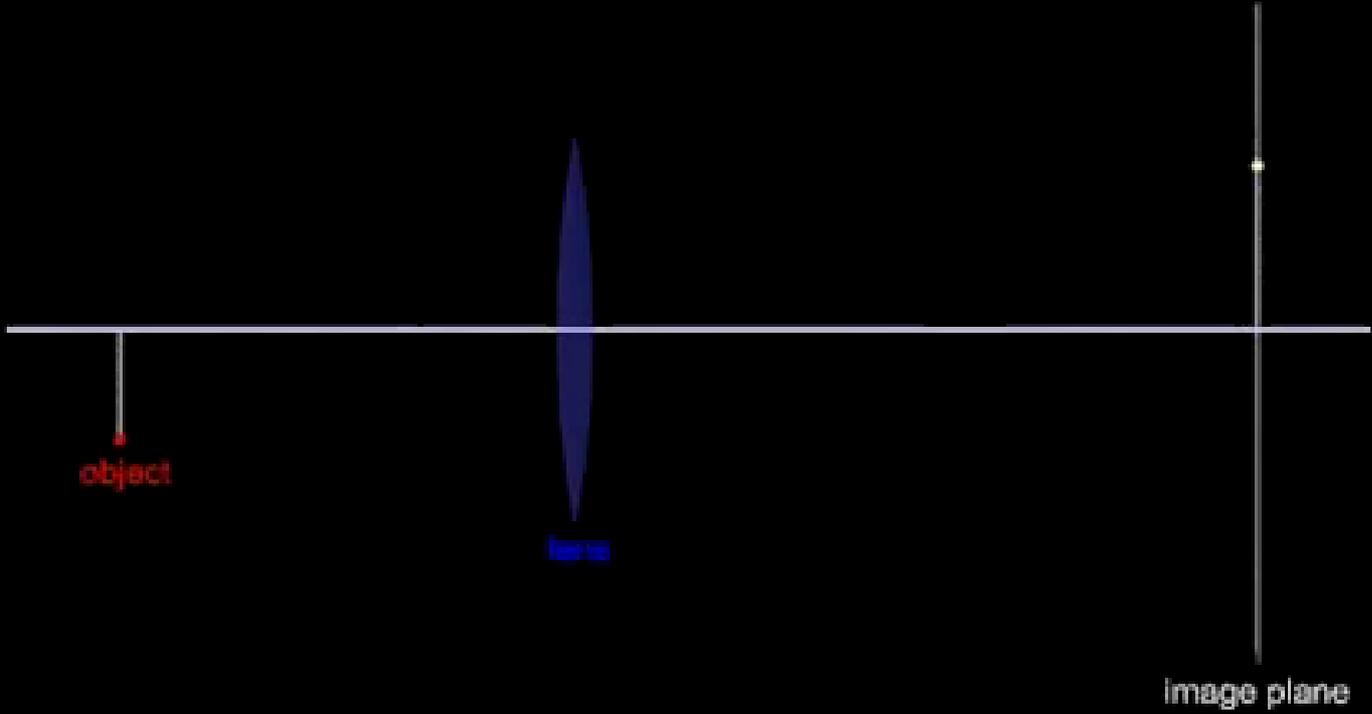
Imagens de objetos que estão longe do centro do campo vão se degradando (pior quanto maior a distância da imagem ao eixo focal).

- Superfícies parabólicas e hiperbólicas.
- Efeito inversamente proporcional ao quadrado da razão focal:  $1/(DF/D)^2$



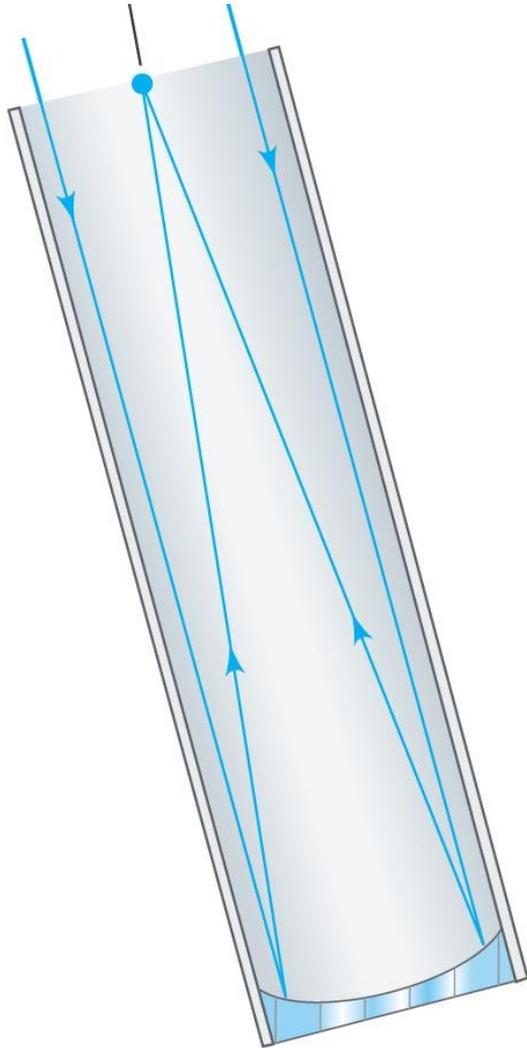
## Espelho parabólico





# Tipos de telescópios refletores: óptica

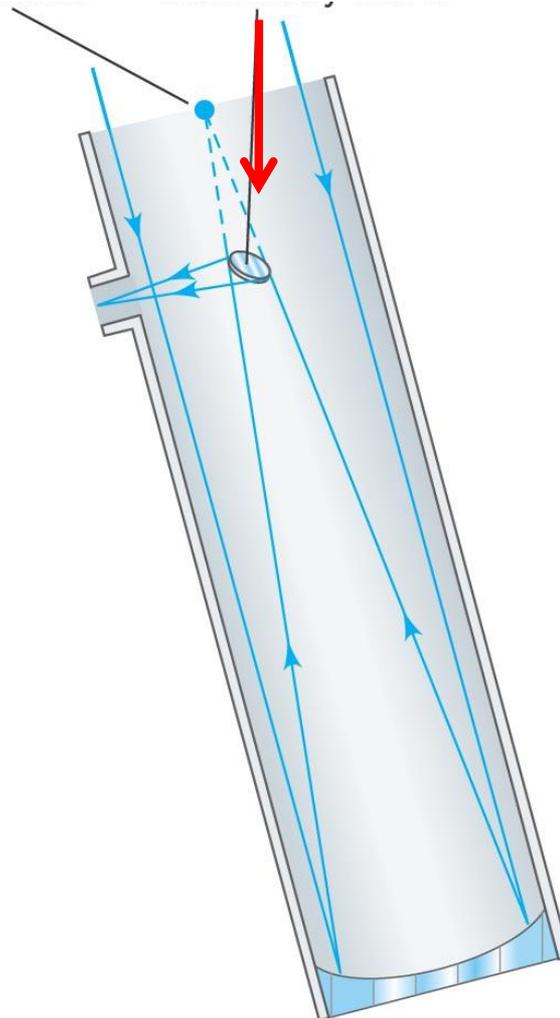
## Foco primário



(a) Prime focus

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

## Espelho secundário



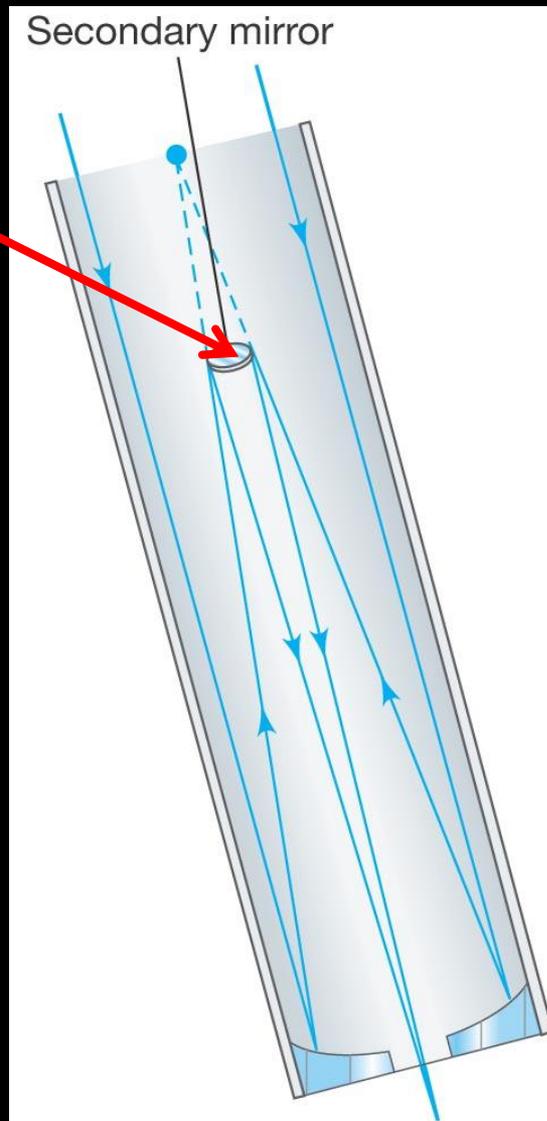
(b) Newtonian focus

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

**Foco newtniano: bom para telescópios pequenos (astronomia amadora)**

# Tipos de telescópios refletoras: óptica

**Espelho secundário**

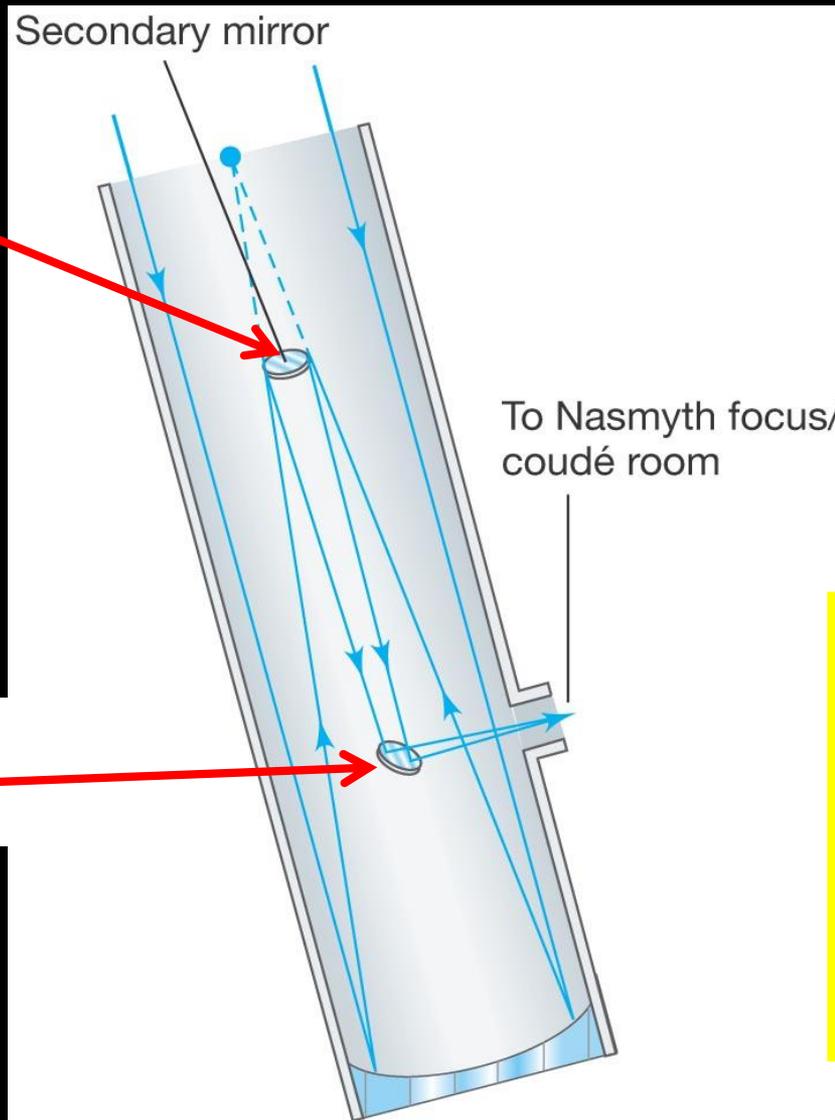


(c) Cassegrain focus

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

**Foco Cassegrain:  
bom para  
equipamentos  
medianamente  
pesados ⇒  
equipamento se move  
com o telescópio.**

# Tipos de telescópios refletoras: óptica



**Foco  
Nasmyth/Coudé:  
bom para  
equipamentos muito  
pesados ⇒  
equipamento fixo  
numa sala.**

(d) Nasmyth/coudé focus

# MONTAGENS

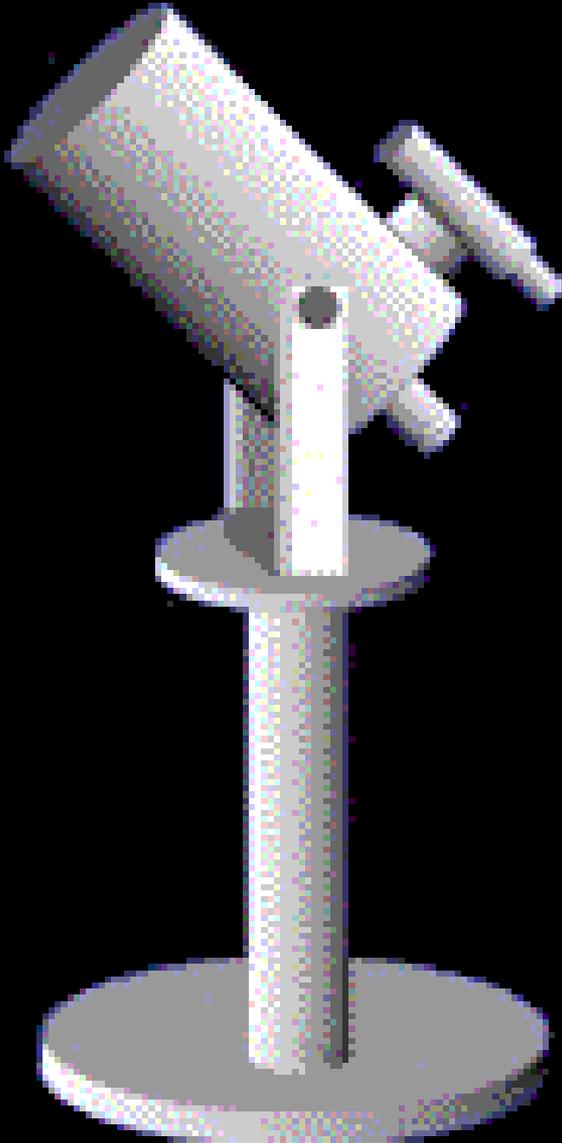
## MONTAGEM ALTAZIMUTAL:

O Telescópio se move num eixo de azimute (no plano horizontal local) e num eixo de altura ortogonal a este.

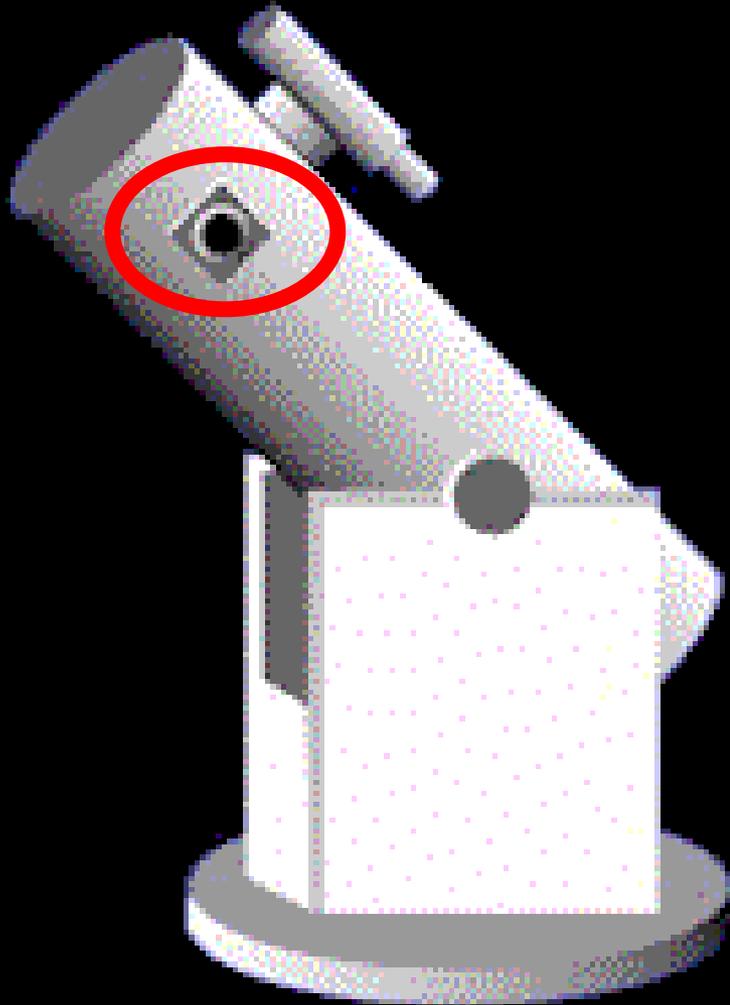
### Vantagens:

Prática de montar, compacta, mais leve do que as demais

Desvantagem: necessita 2 motores se movendo em velocidades variáveis para fazer o acompanhamento sideral. Isso requer processamento de dados online para controle dos motores.



# Montagem altazimutal dobsoniana



É a preferida dos amadores por ser fácil de montar e desmontar.

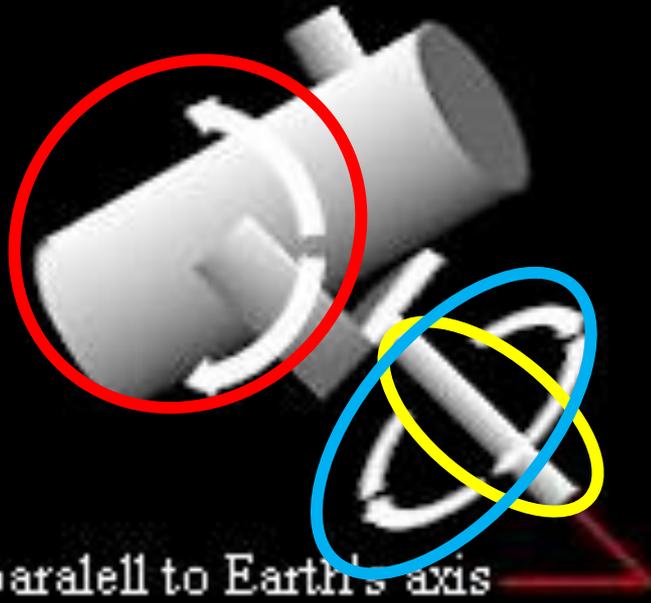
**Desvantagem:** a ocular fica no alto da montagem, o que impede a instalação de instrumentos pesados.

# Montagem altazimutal dobsoniana

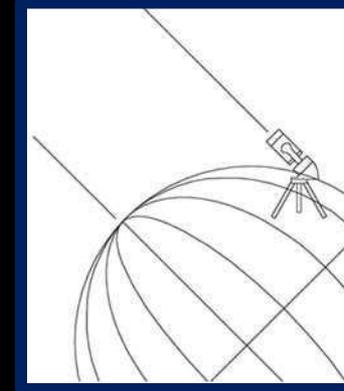


[www.spacetelescope.org](http://www.spacetelescope.org)

# Montagem equatorial



O Telescópio é montado num eixo paralelo ao eixo de rotação da terra (eixo polar).



Alinhamento do eixo dependendo da latitude

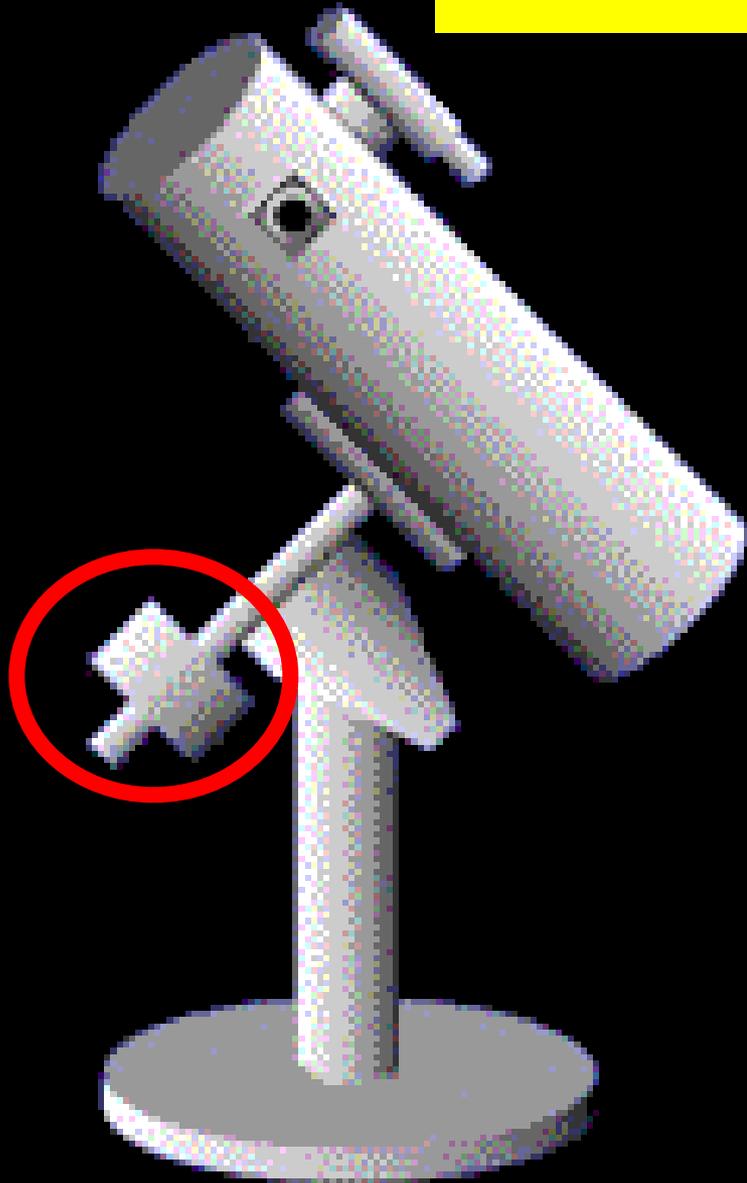
A rotação do eixo polar dá o movimento E-W (ascensão reta)

A rotação do outro eixo ortogonal ao eixo polar dá o movimento N-S (declinação).

A grande vantagem é que basta um único motor funcionando a velocidade constante para fazer o acompanhamento sideral (giro do eixo polar).

A desvantagem é que a montagem é assimétrica e portanto mais massiva, mais cara e mecanicamente mais instável.

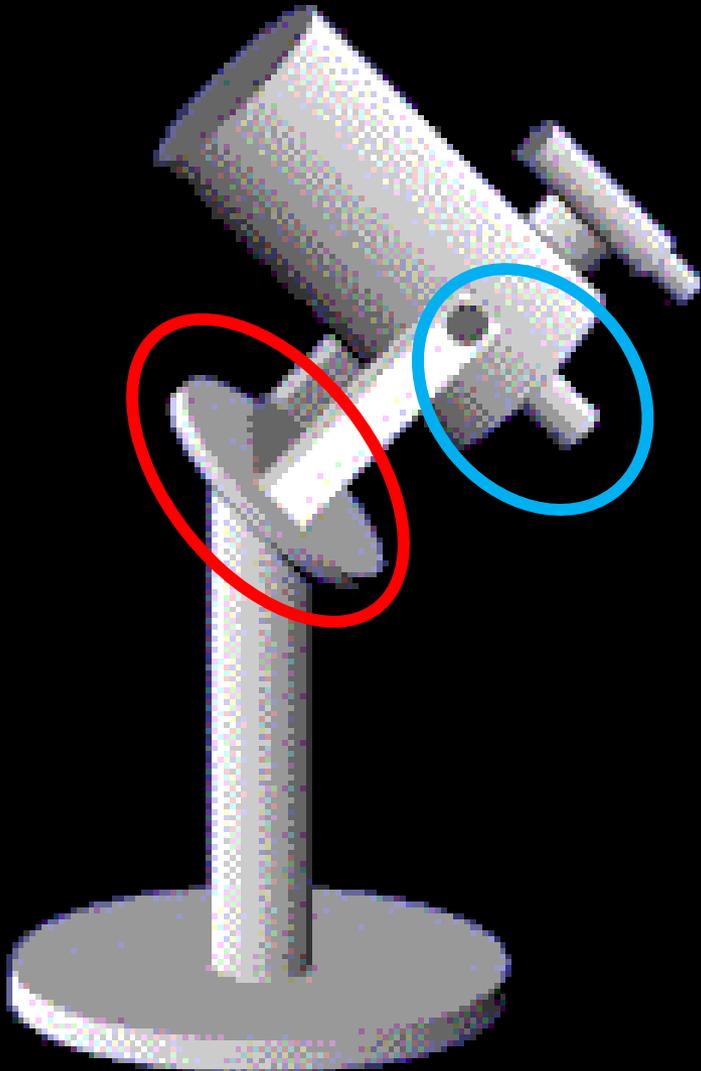
# Montagem equatorial alemã



O Telescópio é instalado na extremidade de um eixo ortogonal ao eixo polar.

Na outra extremidade do eixo é instalado um contrapeso

# Montagem equatorial em ferradura



O Telescópio é instalado dentro de uma ferradura que gira centrada no eixo polar.

Toda a carga mecânica da parte móvel é exercida na junção da ferradura com o pilar.

**Melhor posição da ocular**

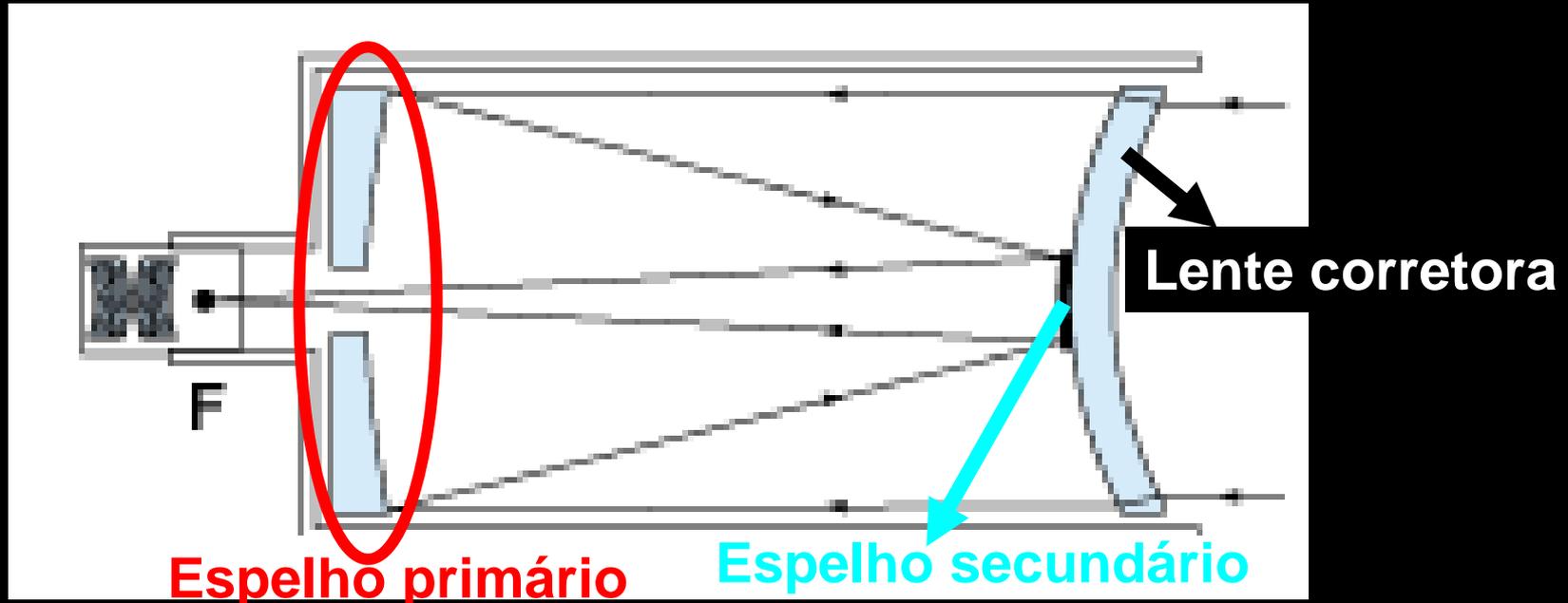
# Montagem equatorial com ferradura



[www.spacetelescope.org](http://www.spacetelescope.org)

# SISTEMA ÓPTICO CATADIÓPTRICO

Combina espelho com lente



A captação da luz é feita por um espelho primário, porém antes de chegar no mesmo a luz passa por uma lente corretora para minimizar os efeitos de coma.

Correção importante para um telescópio refletor grande, aumentando a imagem útil

# CAMERA SCHMIDT

**grande campo**



**Este instrumento utiliza lentes para correção do campo inteiro.**

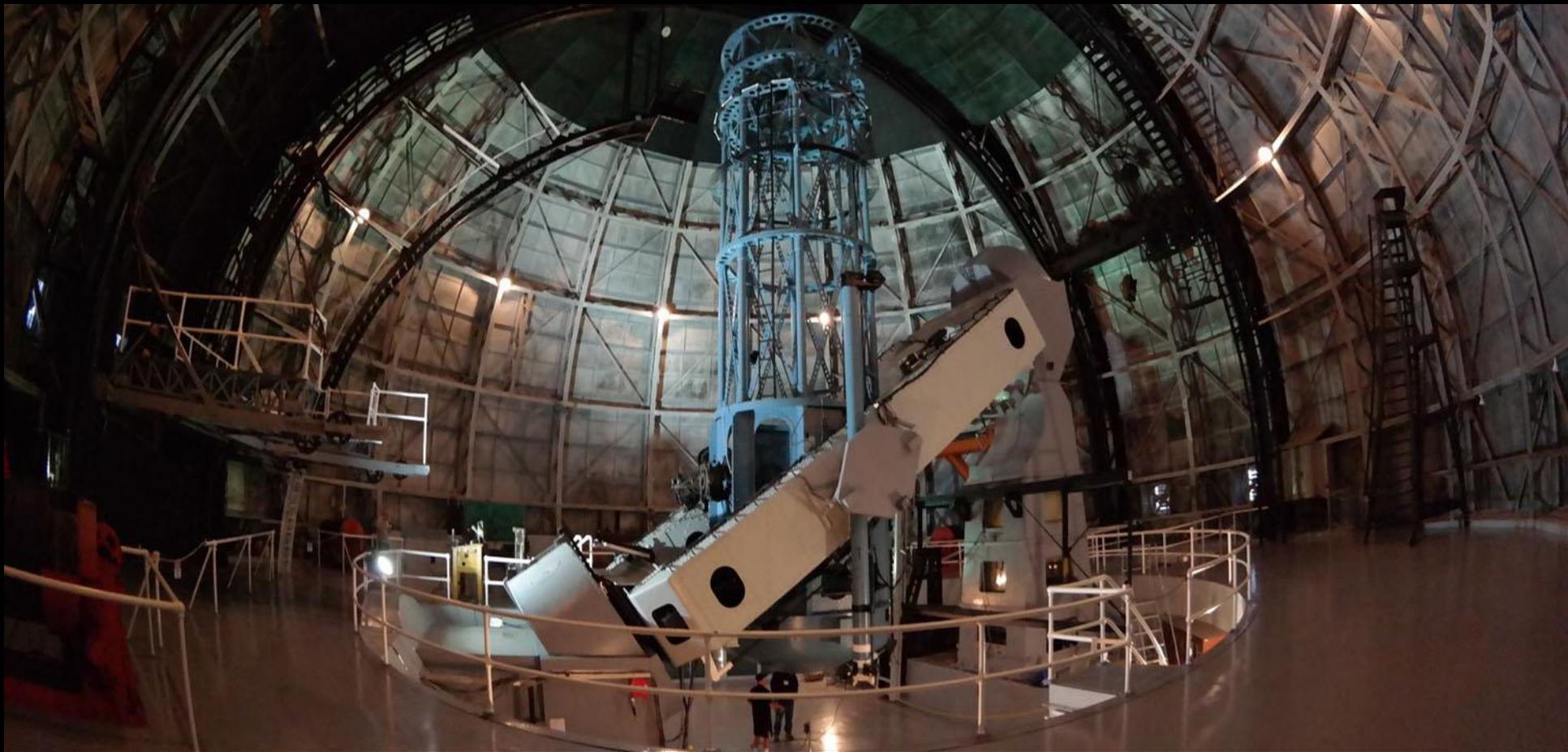
**Cobre vários graus de céu.**

**1,2 m de diâmetro (Mt. Palomar)**

**Produz uma imagem curva que não é adequada a observação a olho nú e sim filmes fotográficos especiais.**

# Mt. Wilson (1922)

telescópio Hooker: 2,5 m de diâmetro

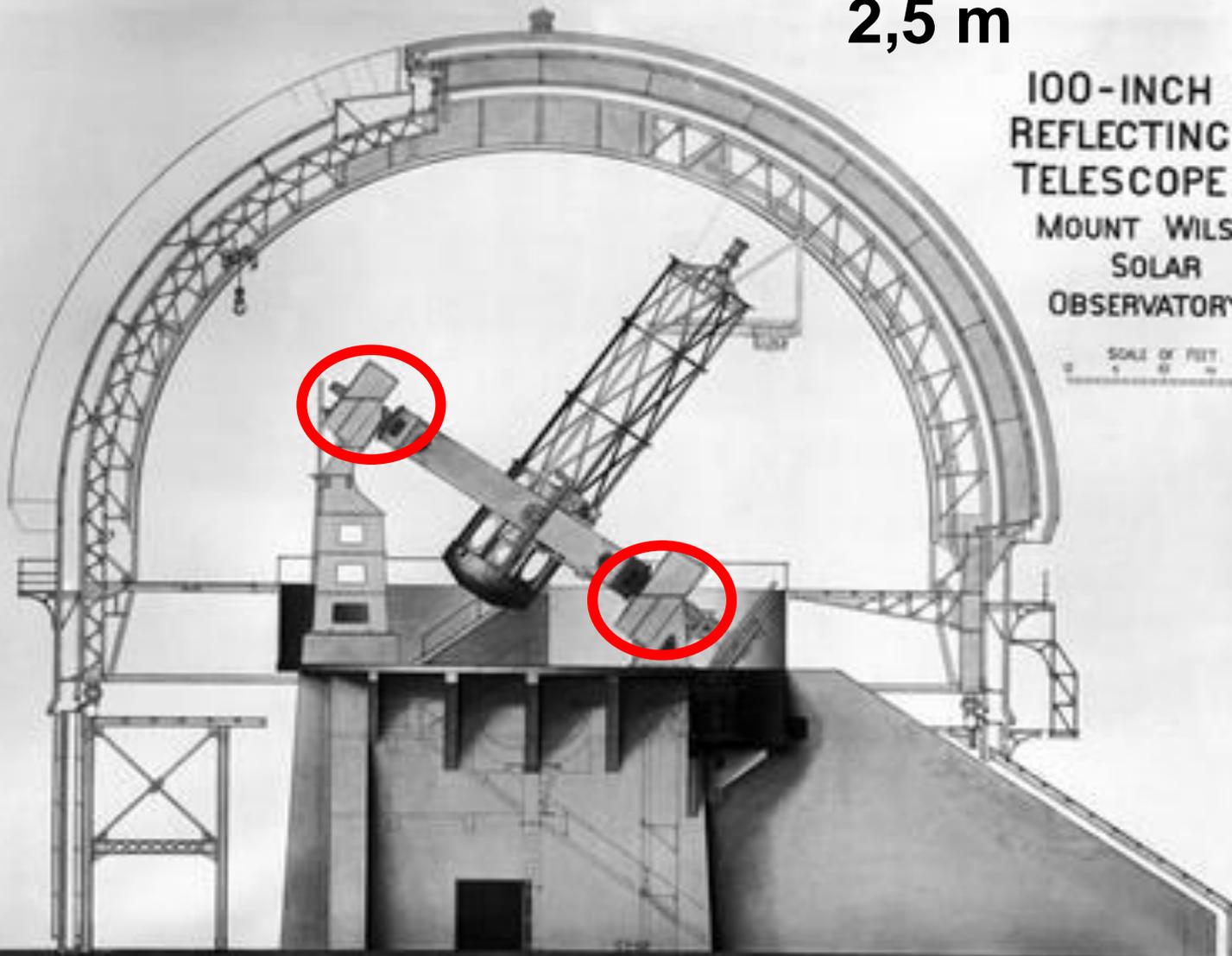


Montages equatorial em ferradura com dois pés (suportes) devido à grande massa do telescópio.

2,5 m

100-INCH  
REFLECTING  
TELESCOPE.  
MOUNT WILSON  
SOLAR  
OBSERVATORY.

SCALE OF FEET  
0 10 20 30



**A linha que une o pé sul (mais baixo) e o pé norte (mais alto) aponta para o Polo Norte Celeste.**

**Usado por Edwin Hubble: existência de outras galáxias e seus movimentos de recessão (a lei de Hubble) entre 1922 e 1929.**

# Telescópio Hale no mt. Palomar (1948) : 200" (5 m)

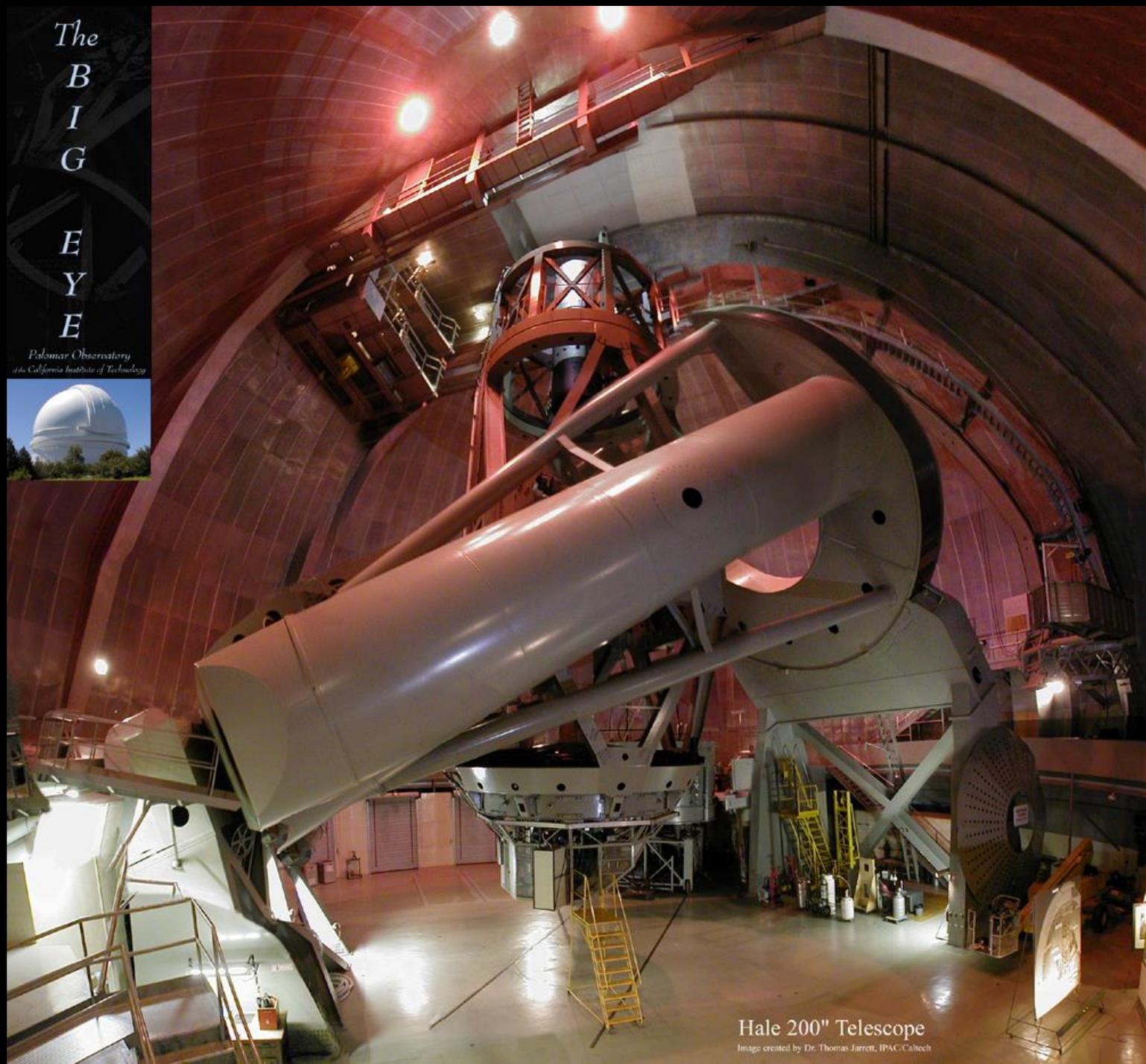


**Montagem análoga a Mt. Wilson: equatorial em ferradura com dois pés. Até os anos 70 foi o maior telescópio do mundo.**

**O telescópio russo de 6m construído nos anos 70 nunca funcionou direito e este aqui foi na prática o maior do mundo até a entrada em operação dos telescópios da classe de 8-10 m como o Gemini, VLT ou Keck.**

The  
B  
I  
G  
  
E  
Y  
E

Palomar Observatory  
of the California Institute of Technology

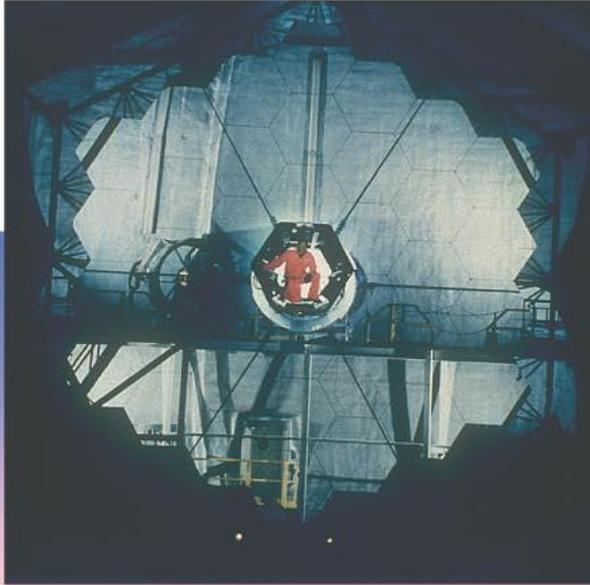


Hale 200" Telescope

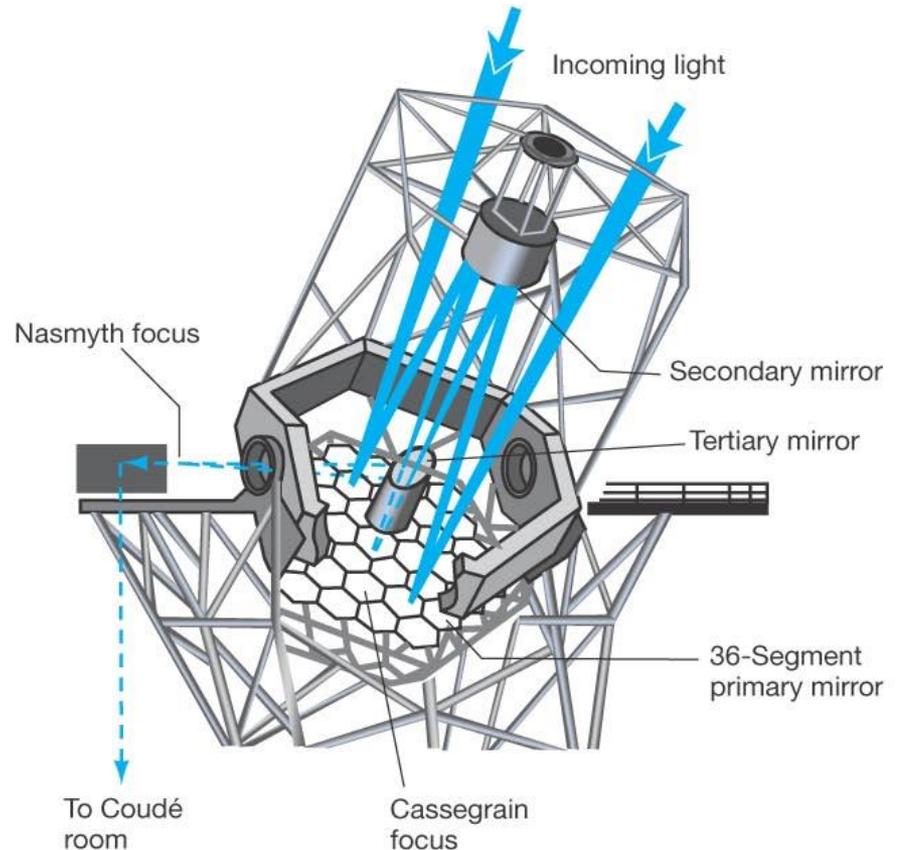
Image created by Dr. Thomas Jarrett, IPAC/Caltech

## Os dois telescópios gêmeos ótico/IR Keck (Mauna Kea – Hawaii):

10 m de diâmetro (mosaico formado por 36 espelhos hexagonais de 1,8 m de diâmetro cada).



(c)



(b)

~ 4 m de altitude

(a)

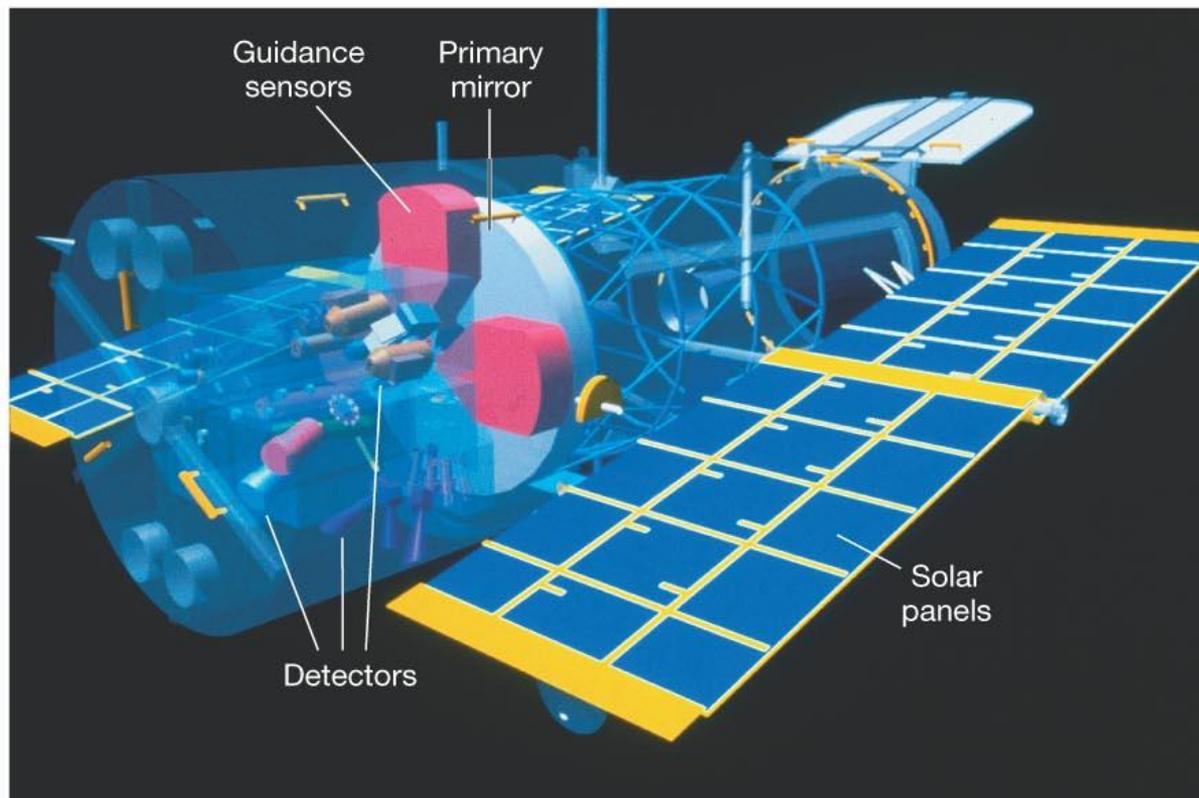
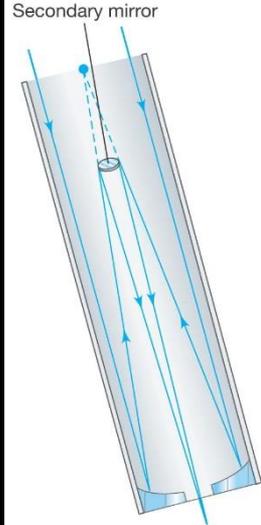
Os dois telescópios gêmeos ótico/IR Keck (Mauna Kea – Hawai):  
10 m de diâmetro (mosaico formado por 36 espelhos hexagonais  
de 1,8 m de diâmetro cada).

**MONTAGEM ALTAZIMUTAL!**



~ 4

O Hubble Space Telescope (HST) é um telescópio Cassegrain de 2,4 m de diâmetro: detectores para medidas do óptico, IR e UV (100 nm a 2200 nm).



**Custo : \$9 bilhões**

**Altitude orbital: 600 km**

**Volta completa em 95 min ( $v=7,59$  km/s)**

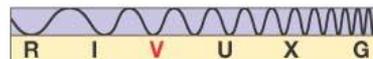
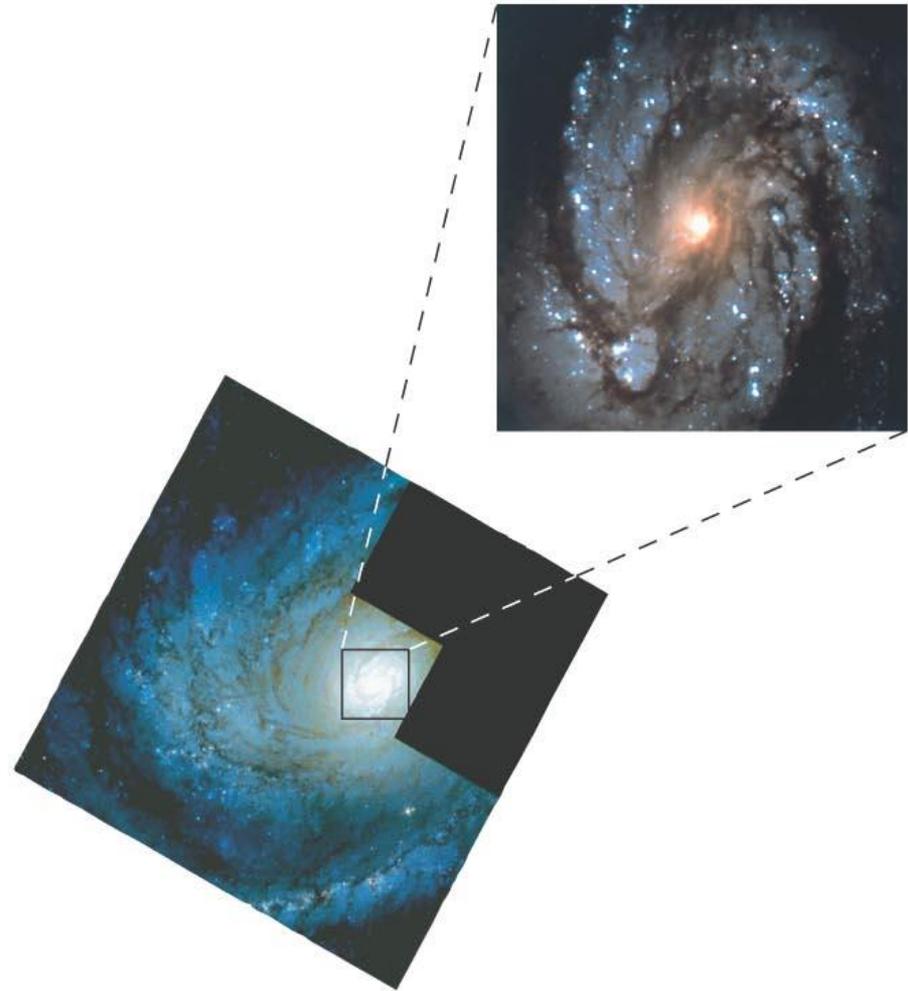
**Dimensões : 13 m x 12 m (incluindo os coletores solares)**

**Peso: 11.000 kg**

**HST sendo  
retirado da  
Discovery em 1990**



# Comparação entre a melhor imagem feita de M100 por um telescópio na Terra e com o HST.



# Tamanho (diâmetro) do telescópio

• Quanto mais luz o telescópio coleta, maior detalhe se tem (objetos mais fracos) (light-gathering power) (MAIOR ÁREA COLETORA)

O brilho observado é diretamente proporcional à área da superfície coletora

**Brilho  $\propto$  área do espelho  $\propto$  diâmetro<sup>2</sup>**

## Definição de ganho de um telescópio em relação a outro

DIÂMETRO ↑

GANHO ↑

$$\frac{B_1}{B_2} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

um telescópio de 5 m produzirá uma imagem 25 vezes mais brilhante do que um telescópio de 1 m

DIÂMETRO ↑

$t_{\text{EXPOSIÇÃO}}$  ↓

$$\frac{t_1}{t_2} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2$$

Tempo de exposição de 1 hora com um telescópio de 1m equivale ~ 2,4 min com um telescópio de 5m (4% do tempo de um telescópio de 1 m)

# Tamanho do telescópio

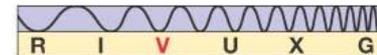
Andrômeda medida com o mesmo tempo de exposição, sendo o telescópio (b) duas vezes o tamanho de (a).



(a)



(b)



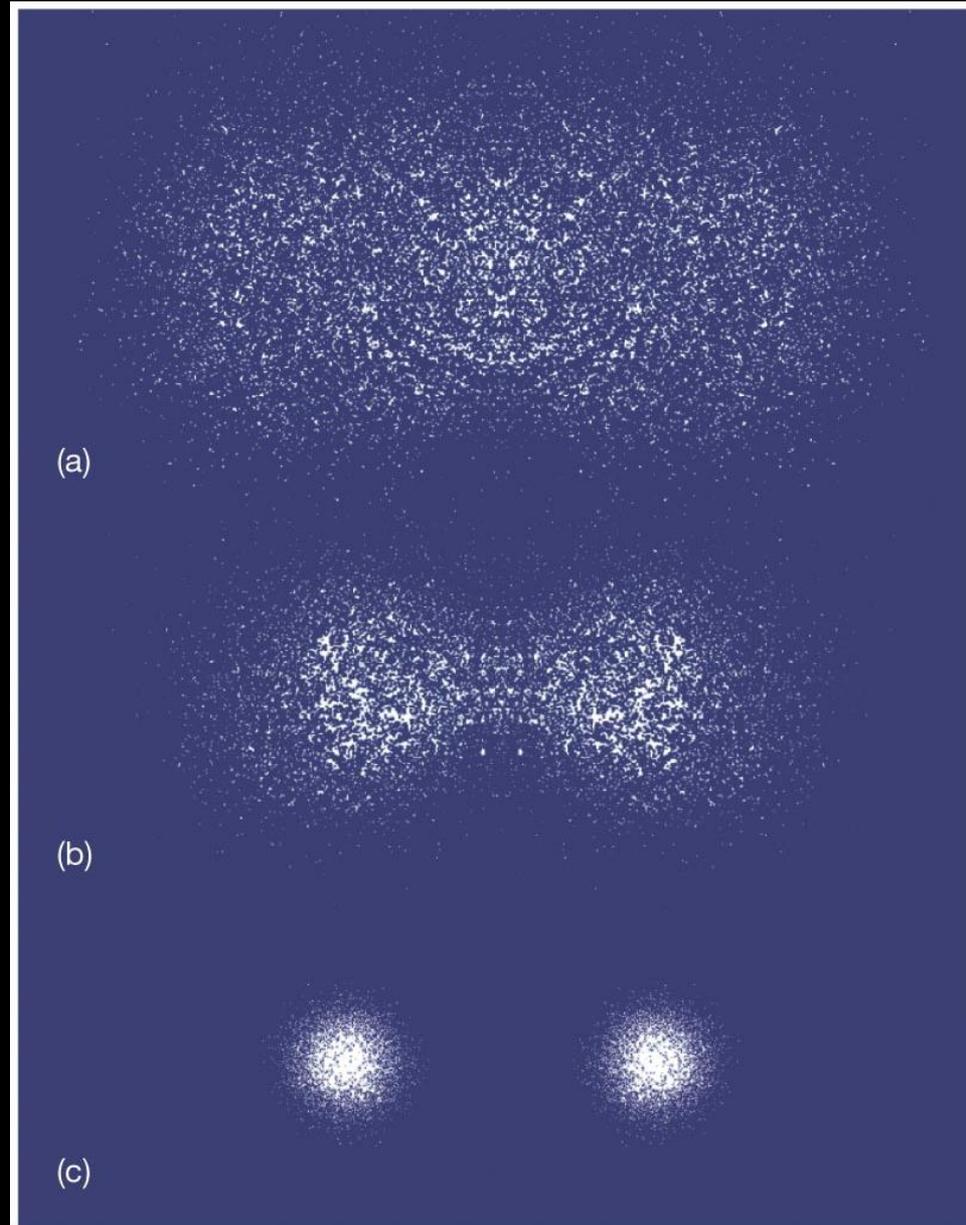
# Poder de resolução

**Melhor resolução angular:  
pode-se distinguir objetos  
muito próximos angularmente**

**Resolução é proporcional ao  
comprimento de onda e  
inversamente proporcional ao  
tamanho do telescópio**

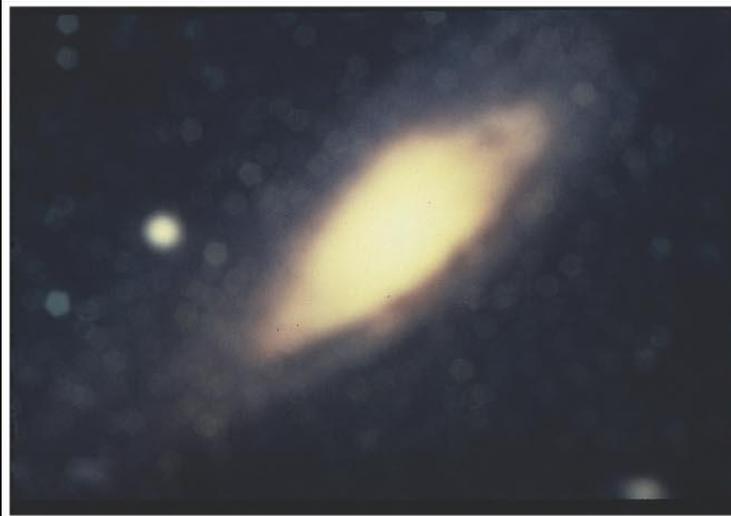
$$Res \propto \frac{\lambda}{D}$$

**Quanto menor  $Res \Rightarrow$  melhor  
resolução**



# Efeito do aumento de resolução (aumento = menor $n^\circ$ ):

(a)  $10'$ ; (b)  $1'$ ; (c)  $5''$ ; (d)  $1''$



(a)



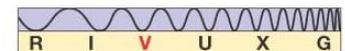
(b)



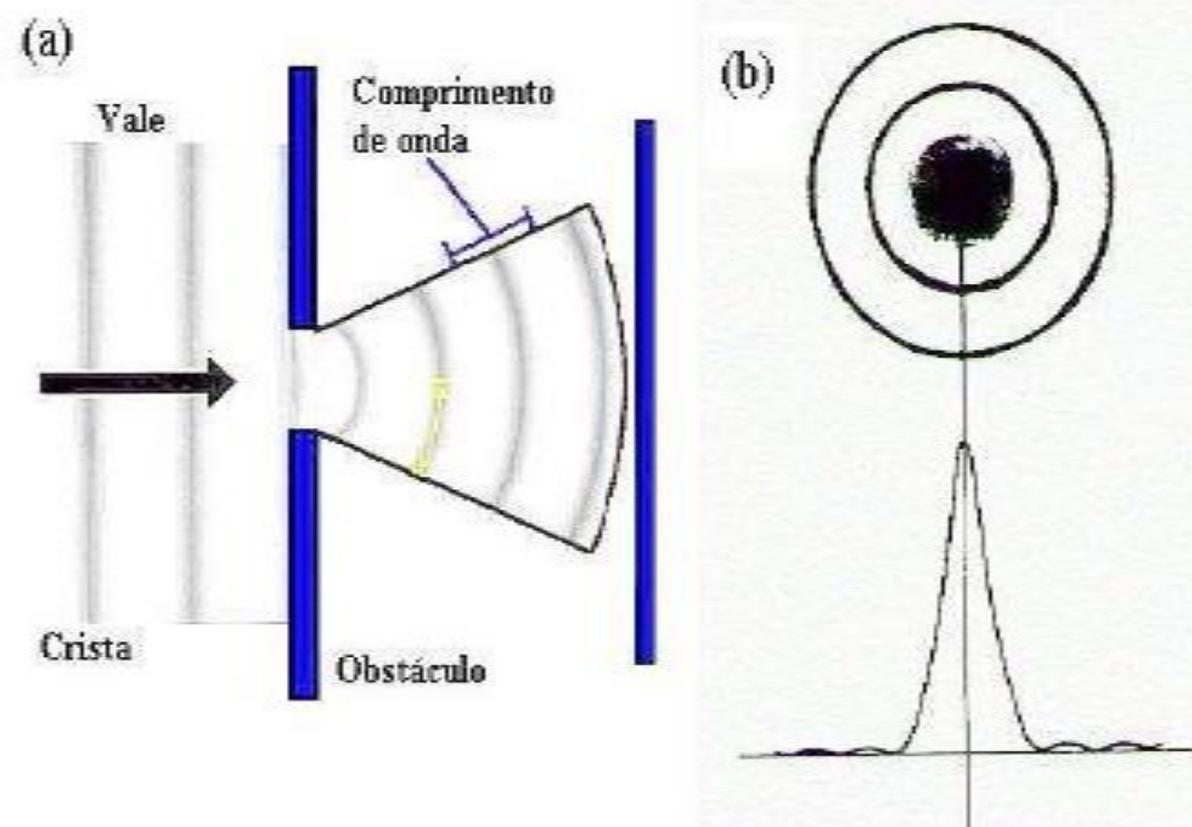
(c)



(d)



# LIMITE DE DIFRAÇÃO



Quando feixe incide no coletor do telescópio: luz é dispersa diminuindo a concentração do feixe = perda de resolução da imagem

**Difração limita a resolução de um telescópio dependendo do comprimento de onda e tamanho do telescópio.**

# LIMITE DE DIFRAÇÃO

Para um espelho circular e óptica perfeita, a resolução angular de um telescópio é:

$$\theta = \frac{206265 \times \lambda}{D} \quad \text{em ''}$$

$1 \text{ rad} = 206.265''$

**Separação angular mínima que pode ser distinguida por telescópio**

**Ex. Para um telescópio de 1m**

$\lambda=400 \text{ nm}$  (B) resolução  $\theta \sim 0,1''$

$\lambda=10 \mu\text{m}$  (IR) resolução  $\theta \sim 2,1''$



# **INSTRUMENTOS PARA A ANÁLISE DA RADIAÇÃO**

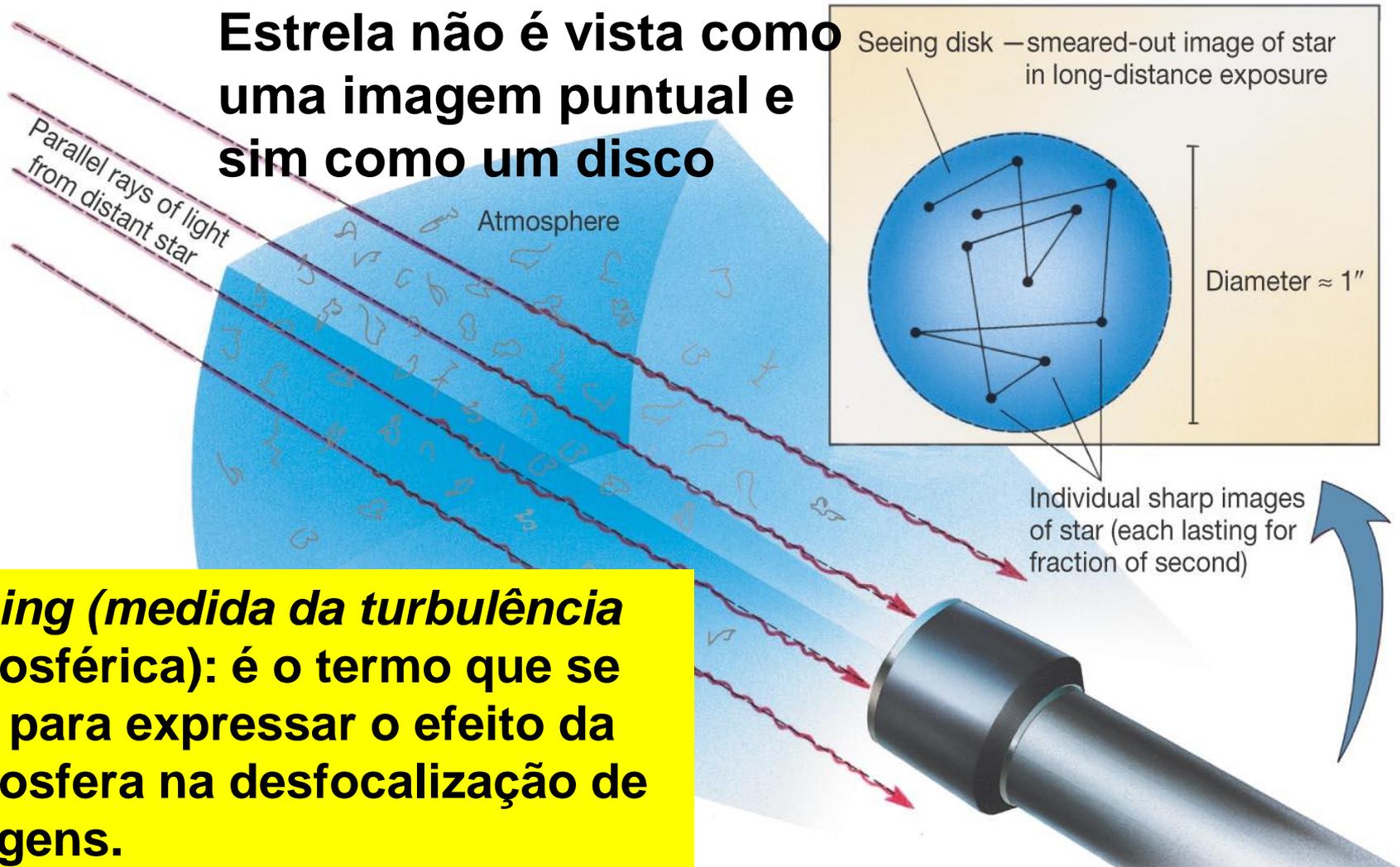
**FOTÔMETRO** : medida da radiação em diferentes filtros = cores (intervalos de  $\lambda$ )

**ESPECTRÓGRAFO**: rede de difração para obtenção dos espectros.

# ASTRONOMIA DE ALTA RESOLUÇÃO

Resolução angular piora ainda + por turbulência atmosférica: luz sofre refração na atmosfera: que altera direção do feixe

**Estrela não é vista como uma imagem puntual e sim como um disco**



**Seeing (medida da turbulência atmosférica): é o termo que se usa para expressar o efeito da atmosfera na desfocalização de imagens.**

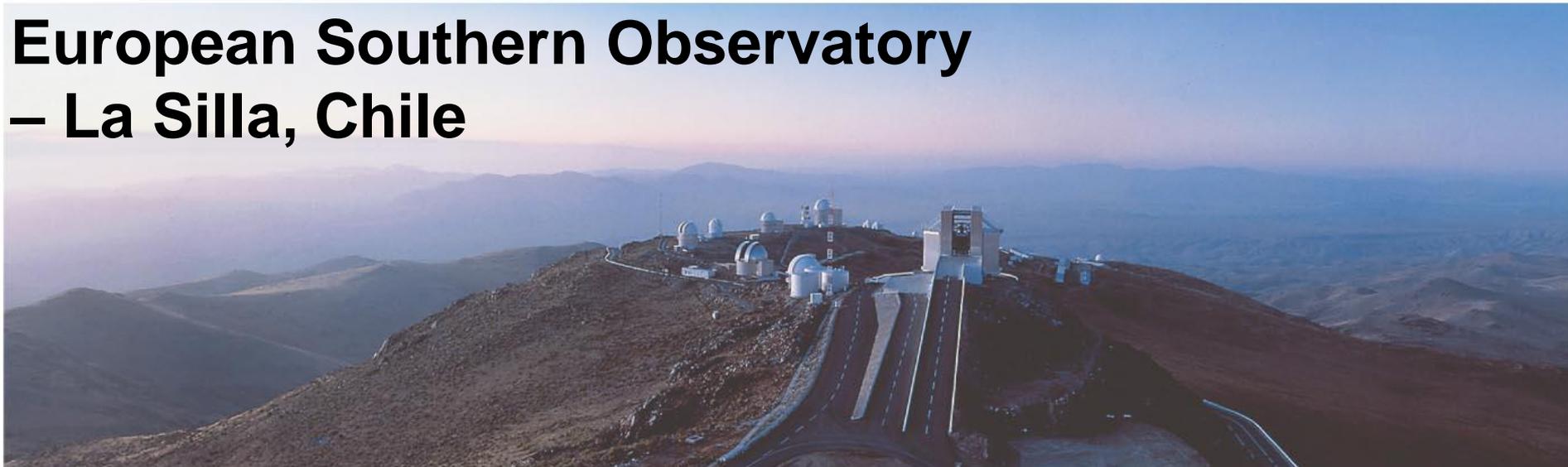
**Resolução teórica (limite de difração) do Keck (10 m) = 0,01" no azul.**

**Mas nenhum telescópio terrestre pode alcançar uma resolução muito melhor do que ~1" = turbulência atmosférica**

# Soluções

- **Telescópios em topos de montanhas ou em lugares desérticos:**
  - maior altitude (menos atmosfera)
  - Clima seco
  - Afastado de cidades (menos poluição e menos luz)
- **Telescópios no espaço**

**European Southern Observatory  
– La Silla, Chile**



# Óptica Ativa

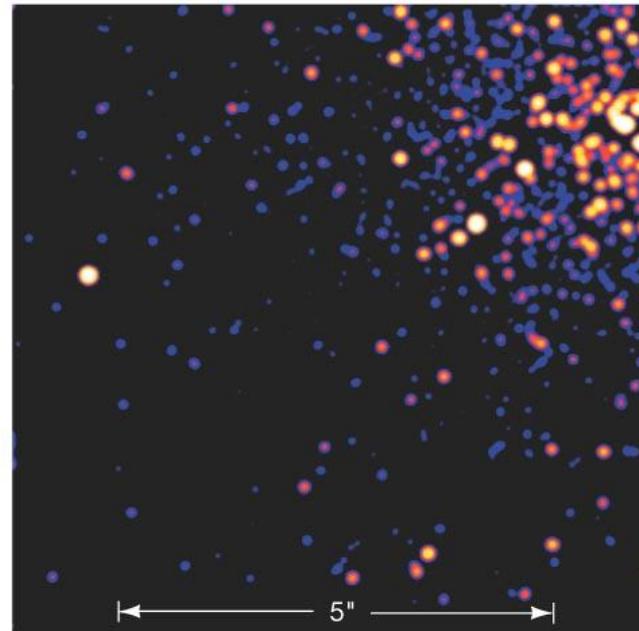
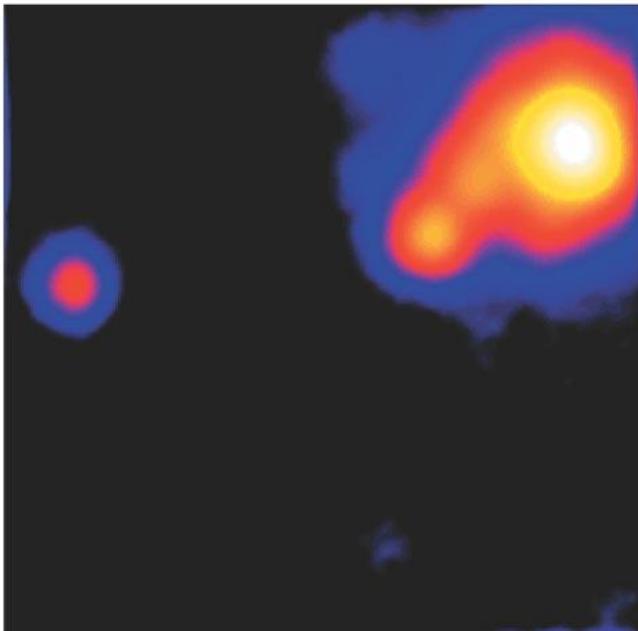
**Variação de temperatura na cúpula e movimento do telescópio podem deformar o espelho.**

**Corrige as deformações no espelho primário devido aos efeitos de variação da T de cúpula e orientação do telescópio.**

**Controle do fluxo de ar na cúpula, T do espelho e pistões hidráulicos para manter com precisão seu formato.**

**Aglomerado de estrelas R136**

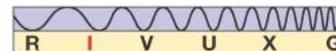
**telescópio NTT (New Technology Telescope – 3.5 m)**



(a) Sem OA  
(b) com o sistema de OA

(a)

(b)



# Keck – espelho primário



O espelho é um mosaico constituído de 36 hexágonos finos de 1.8 m. Sua rigidez é garantida por pistões hidráulicos por baixo. Estas correções são feitas constantemente (óptica ativa).

# Óptica adaptativa: correção da turbulência atmosférica.

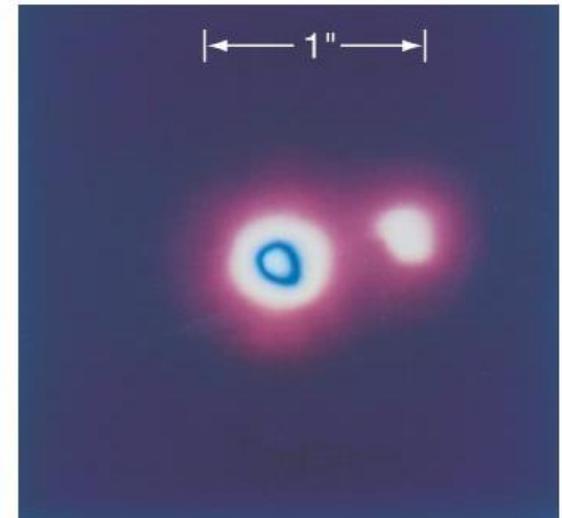
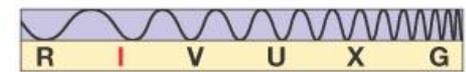
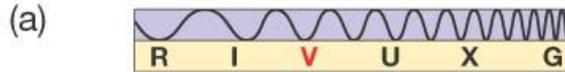
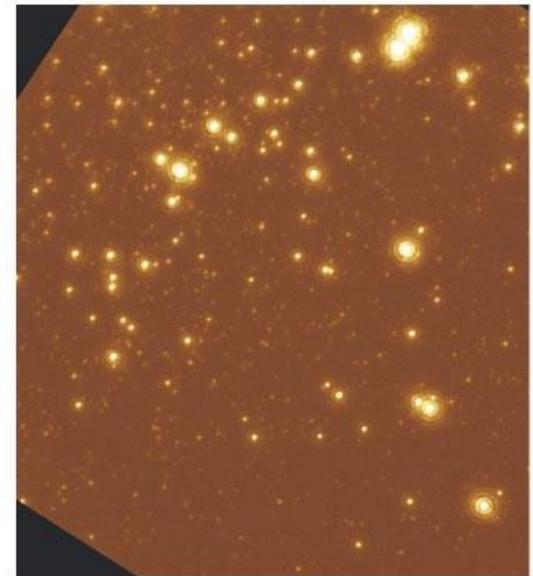
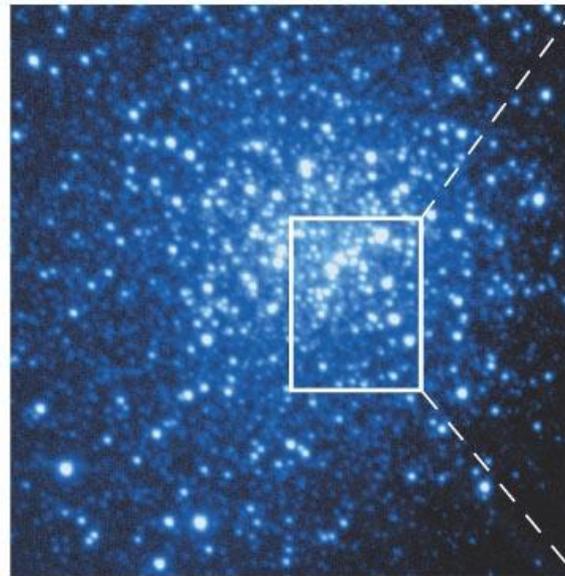
Laser é usado para criar uma estrela artificial e ter uma estimativa das variações atmosféricas.

Os pulsos de laser são mandados e focalizados, através de uma lente, a cerca de 10 a 100 km de altura, criando uma estrela artificial cuja radiação é medida pelo telescópio.

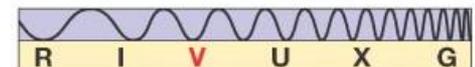
Correções em função destas variações são feitas em outro espelho que é posto no caminho óptico. Correções são feitas em tempo real (centenas de vezes por segundo)



# Melhorias nas imagens feitas pela óptica adaptativa.



(b)



**(a) Aglomerado NGC 6934**  
**(correção para  $< 1''$ )**  
**Telescópio Gemini norte**  
**de 8m.**

**(b) Estrela dupla**  
**Observatório militar em**  
**Maui (Hawaii).**

# Keck I (1994), Keck II (1999)

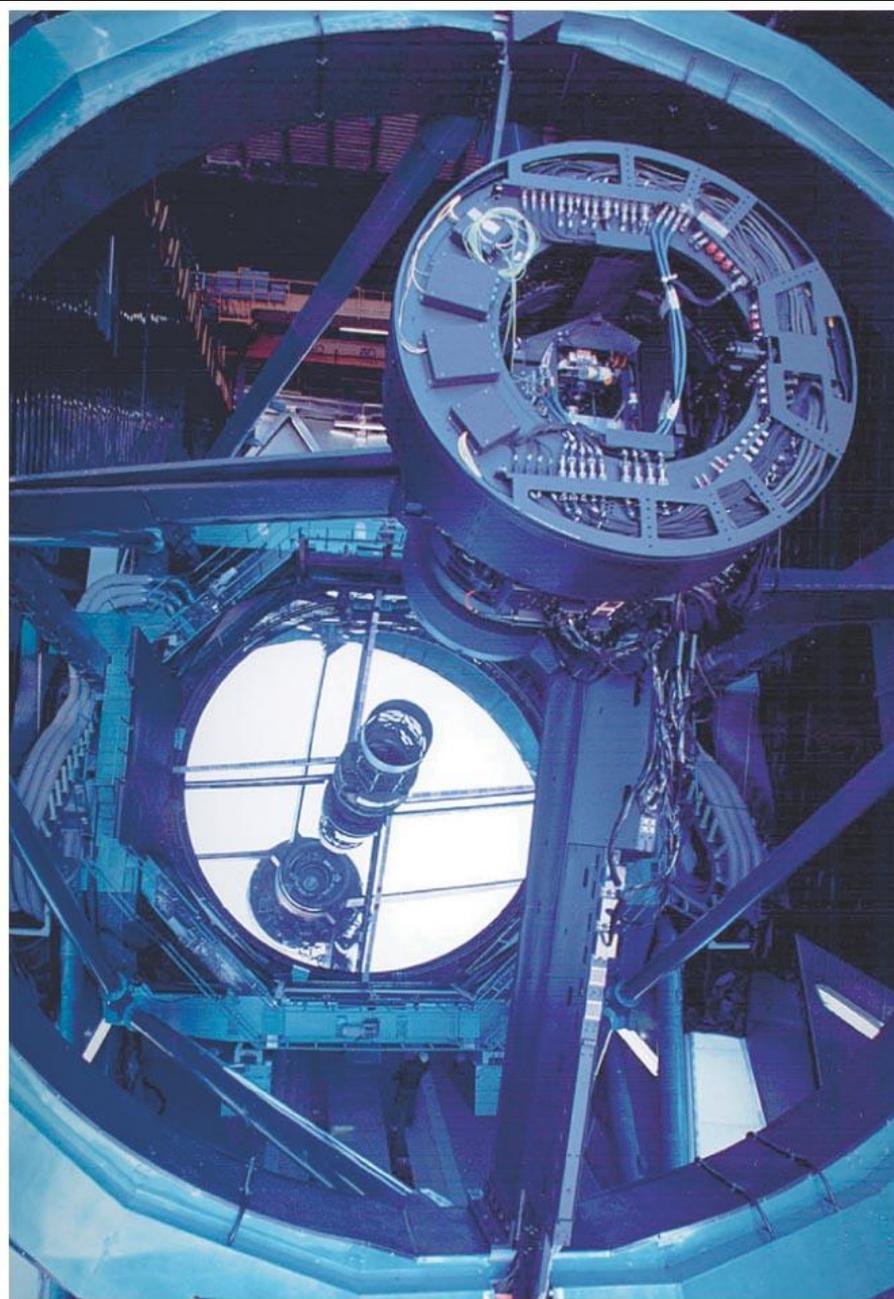
Grandes telescópios construídos a partir dos anos 90 tem montagem altazimutal

Kecks: ambos com 10 m



# Observatório Mauna-Kea





## Espelho do telescópio Subaru

8,2 m de diâmetro e espessura de 20 cm foi construído em 1991.

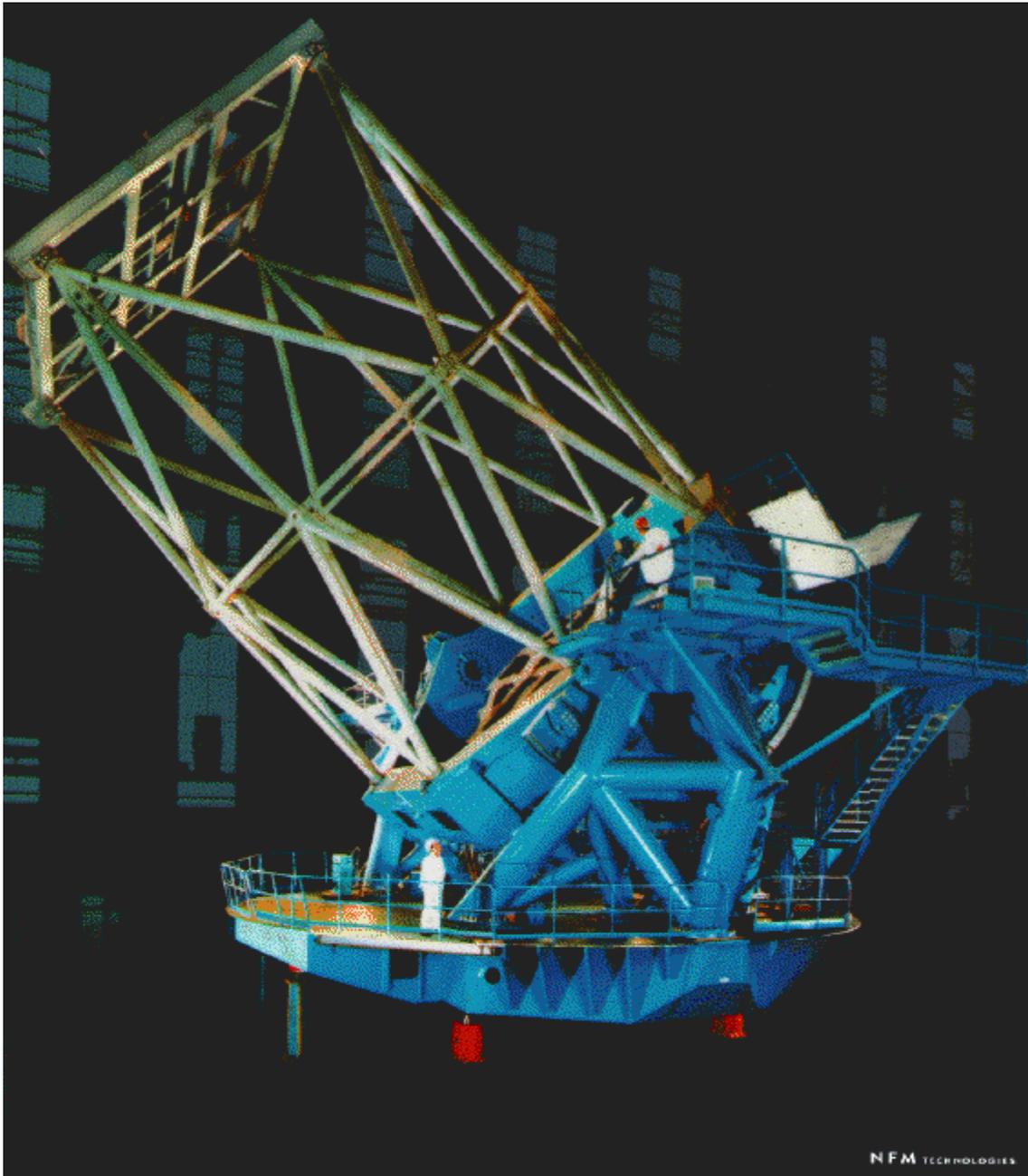
(b)

# Gemini-N



# Gemini-S

Cerro Pachón  
no Chile



# O espelho fino de 8 m do Gemini



# No Brasil: LNA

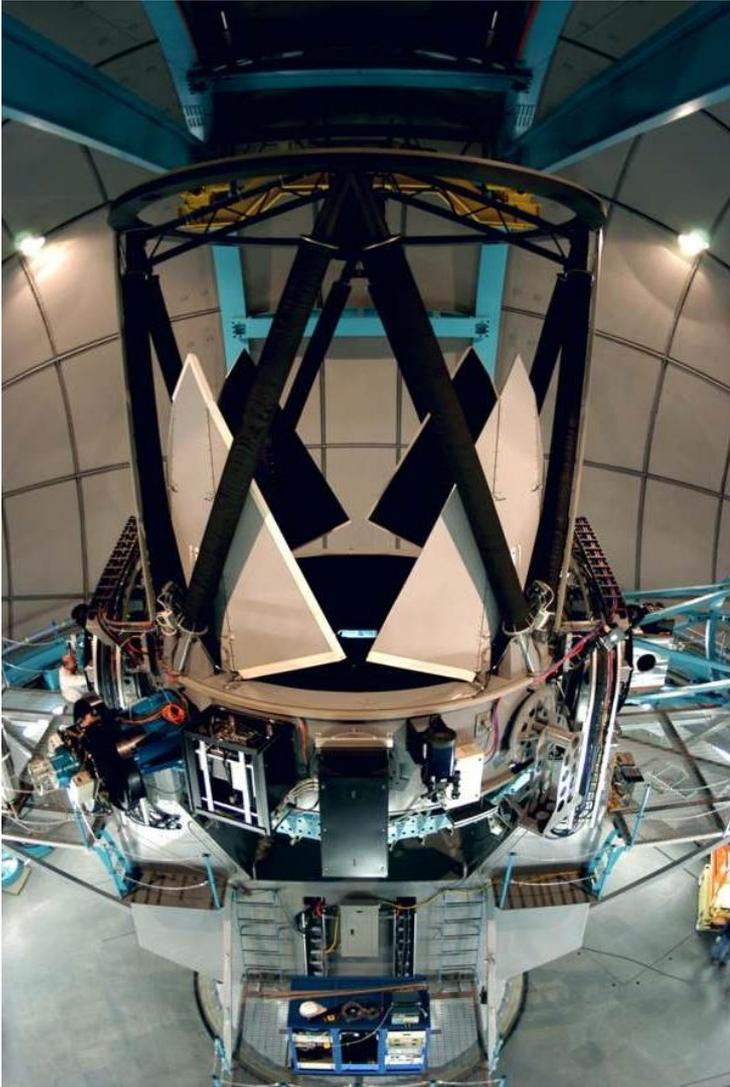
**Pico dos Dias: uma instalação para treinamento  
Opera o Gemini e o SOAR pelo Brasil**



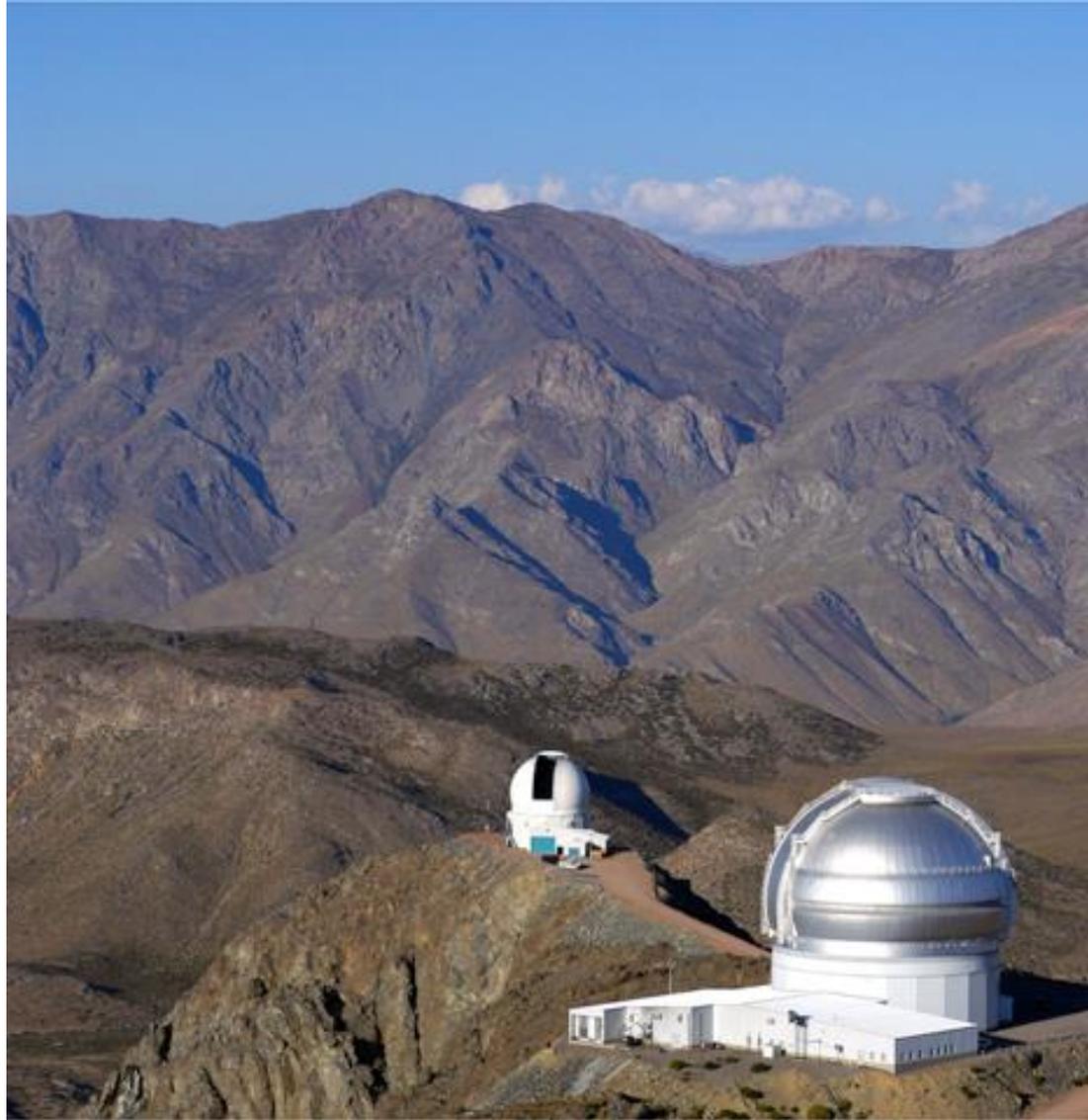
# SOAR



**Cerro Pachón, Chile**

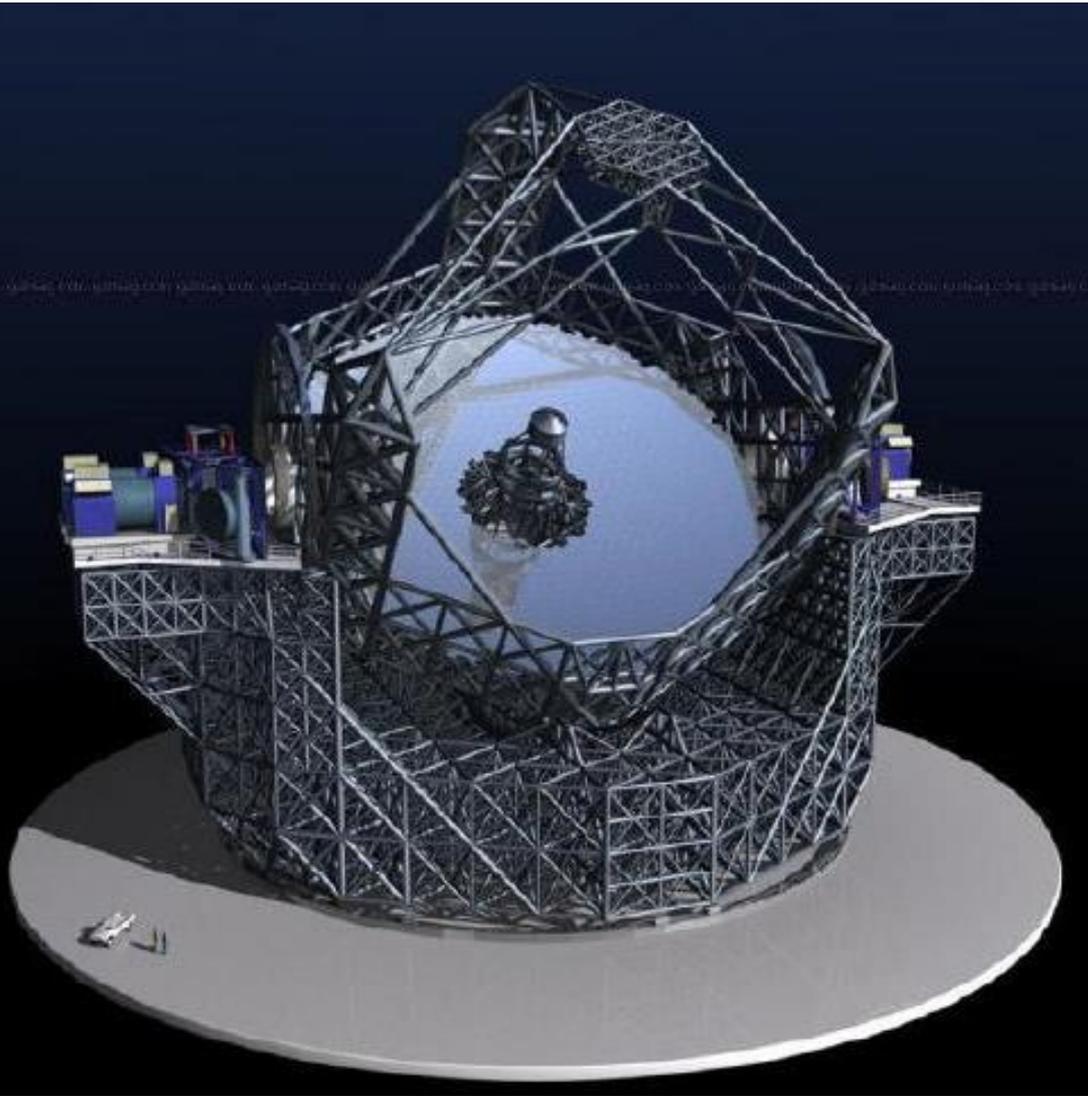


**Duas visões do SOAR. Pode-se ver na esquerda a montagem altazimutal e na direita os pistões hidráulicos da óptica ativa.**

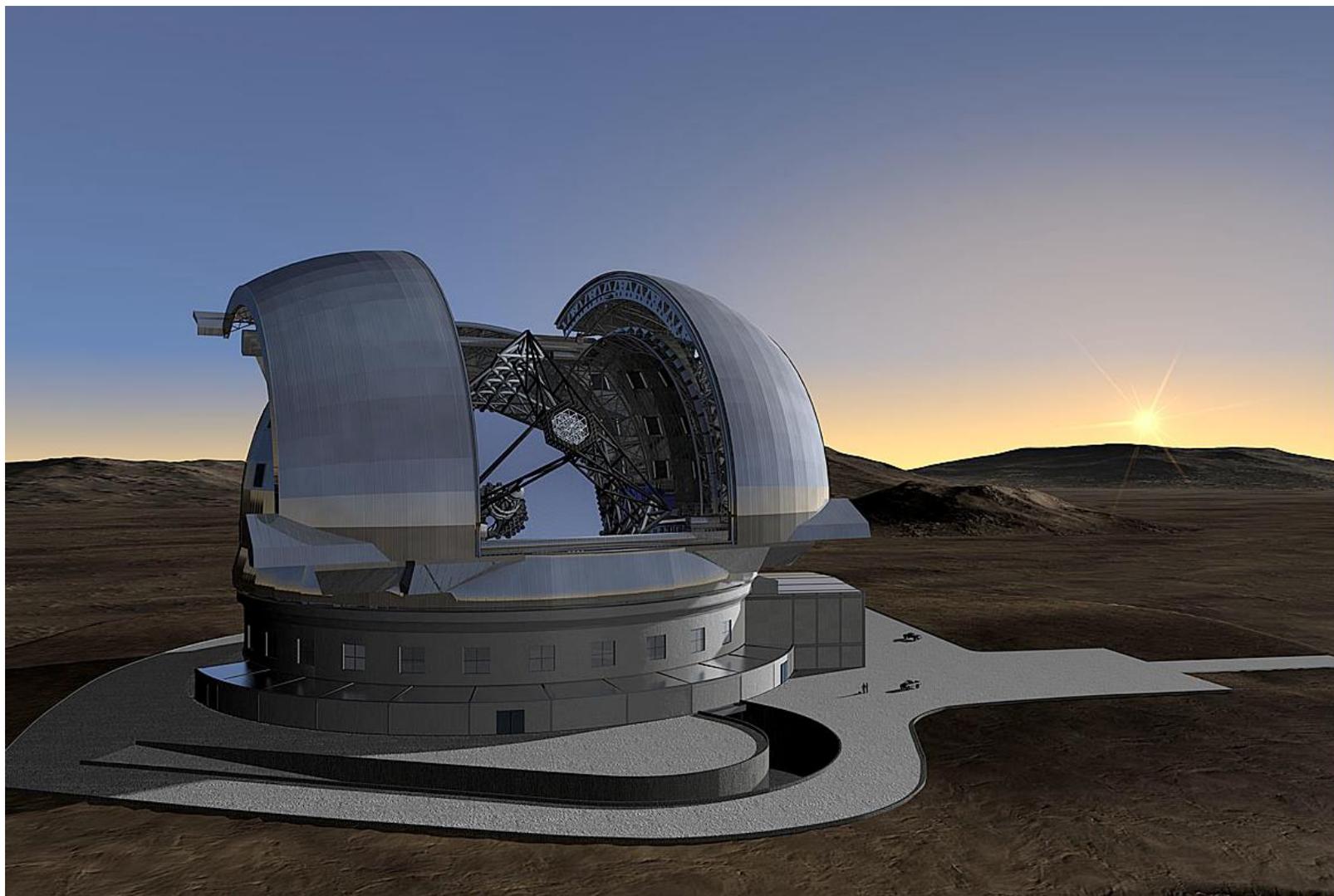


**Telescópio Gemini sul (à frente) e SOAR (ao fundo) no Cerro Pachón, Chile**

# O futuro: European – Extremely Large Telescope (E-ELT) previsto para 2022



**Projeto europeu (ESO)**  
**42 m de abertura**  
**Altazimutal**  
**A ser instalado no Chile**

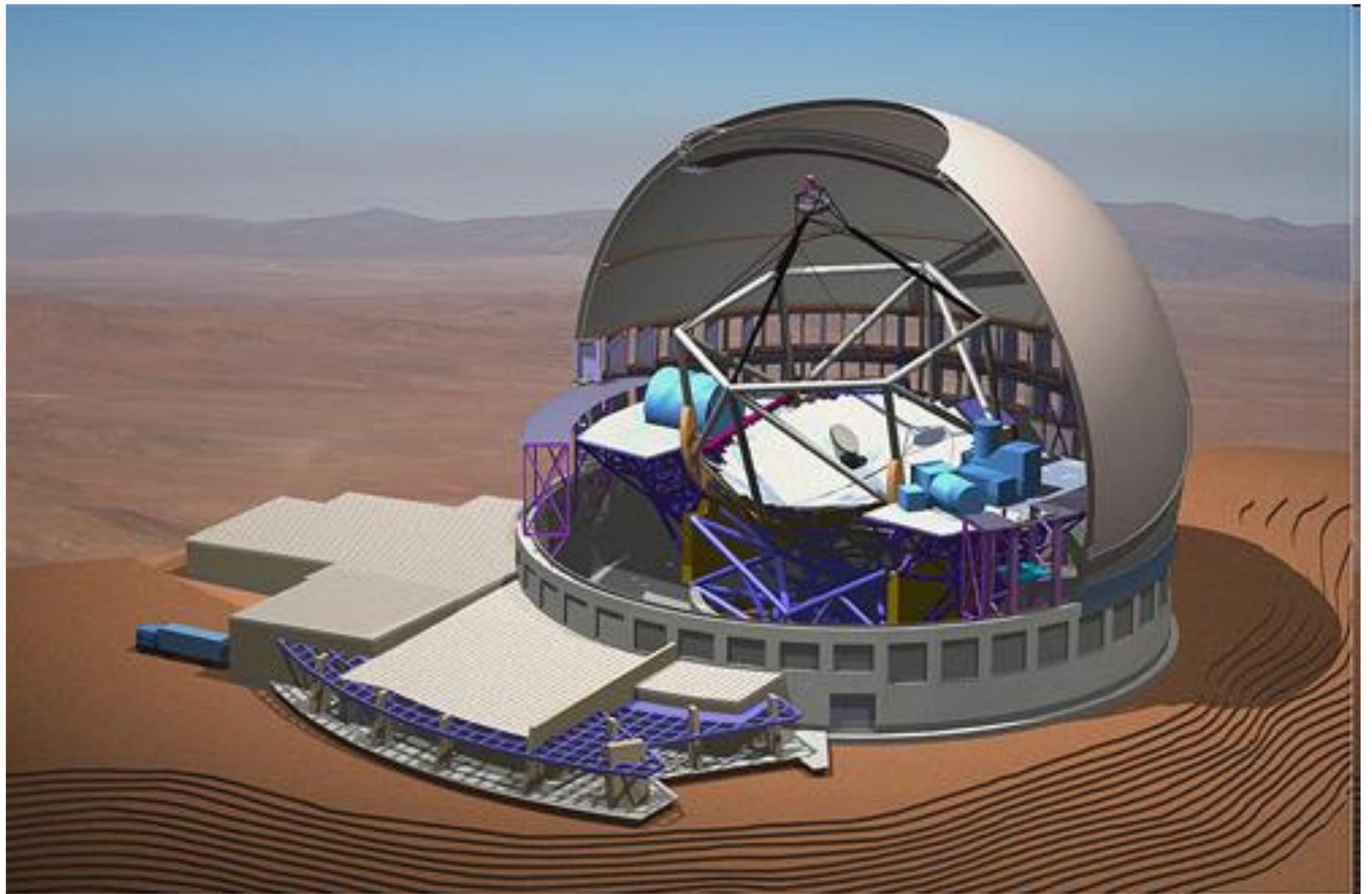


**Visão artística do domo do E-ELT. O prédio terá cerca de 100 m de altura e 90 m de diâmetro**

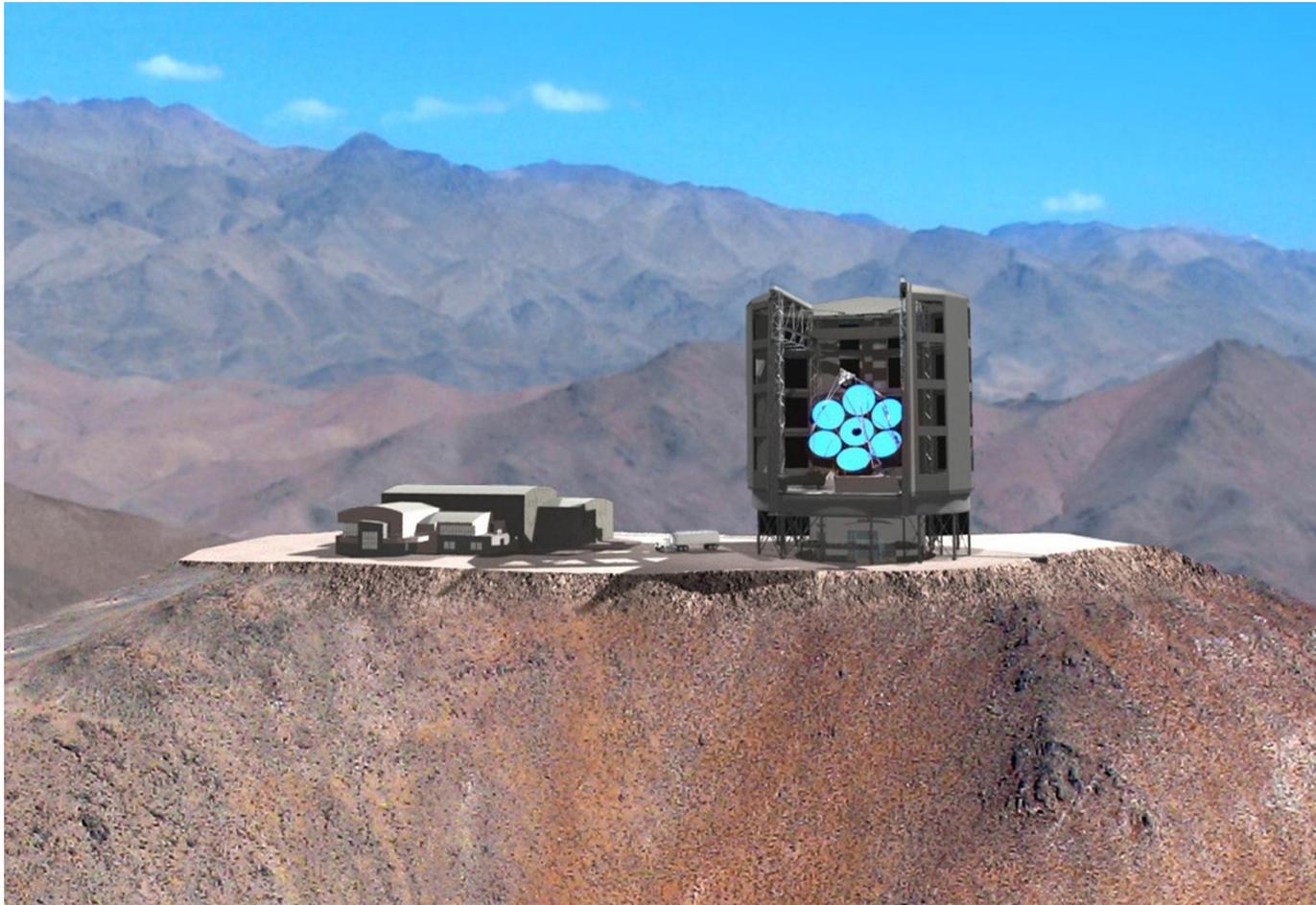
# Thirty Meter Telescope (TMT)



**Projeto americano de um telescópio de 30 m a ser instalado no Havaí ou no Arizona (2022)**



# Giant Magellan Telescope



**Abertura  
equivalente:  
24 m**

**Constitui-se de  
7 telescópios de  
8 m de diâmetro**

**A ser instalado  
no Chile em  
2020**



## Giant Magellan Telescope Organization