

FERNANDA CANOVA FARIA

**Uma análise comparativa entre os telescópios
Hubble e James Webb**

Alfenas

2024

FERNANDA CANOVA FARIA

**Uma análise comparativa entre os telescópios Hubble e
James Webb**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
a banca avaliadora como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção da licenciatura em
Física.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS - ICEx



Orientador: Prof. Dr. Artur Justiniano Roberto Júnior

Alfenas

2024

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Unidade Educacional Santa Clara

Faria, Fernanda Canova .

Estudo Sobre as Características dos Telescópios e sua História :
Telescópios, do passado ao presente. / Fernanda Canova Faria. - Alfenas,
MG, 2024.

88 f. : il. -

Orientador(a): Prof. Dr. Artur Justiniano Roberto Júnior.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade
Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2024.

Bibliografia.

1. Telescópio. 2. Newtoniano. 3. Hubble. 4. James Webb. 5. Espaciais. I.
Júnior, Prof. Dr. Artur Justiniano Roberto , orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

FERNANDA CANOVA FARIA

Uma análise comparativa entre os telescópios Hubble e James Webb

Trabalho de conclusão de curso apresentado
a banca avaliadora como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção da licenciatura em
Física.

Trabalho aprovado. Alfenas, 4 de julho de 2024:

**Prof. Dr. Artur Justiniano Roberto
Júnior**

Universidade Federal de Alfenas - Alfenas
Orientador

Prof. Dr. Person Pereira Neves
Universidade Federal de Alfenas - Alfenas
Membro Interno

Prof. Mestre. José Carlos da Silva
Escola Estadual Targino Nogueira - Elói
Mendes
Membro Externo

Alfenas

2024

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, meus professores, minha família e meus amigos por me apoiarem em todas as minhas escolhas.

"Equipado com seus cinco sentidos, o homem explora o universo ao seu redor e dá à aventura o nome da ciência."
(Edwin Powell Hubble)

Resumo

Nesta pesquisa, será apresentado uma comparação entre os grandes telescópios espaciais Hubble e James Webb, revelando sua trajetória e suas características. No decorrer, encontram-se os três tipos de telescópios, o refrator, o refletor, e o catadióptrico. Neste trabalho serão identificados todos os detalhes que os constituem, entenderemos como eles funcionam, e exploraremos algumas de suas grandes descobertas que mudaram toda a história do universo. Portanto, ao saber como os telescópios surgiram, como foram construídos e desenvolvidos, e ao observar resultados surpreendentes, podemos acreditar que são ferramentas muito importantes para a astronomia e que sempre precisaremos deles para explorar o universo.

Palavras-chave: Telescópios, Newtoniano, Hubble, James Webb, Espaciais.

Abstract

In this research, a comparison will be presented between the large Hubble and James Webb space telescopes, revealing their trajectory and characteristics. In the course, there are three types of telescopes, the refractor, the reflector, and the catadioptric. In this work we will identify all the details that make them up, understand how they work, and explore some of their great discoveries that changed the entire history of the universe. Therefore, by knowing how telescopes emerged, how they were built and developed, and by observing surprising results, we can believe that they are very important tools for astronomy and that we will always need them to explore the universe.

Keywords: Telescope, Newtonian, Hubble, James Webb, Space.

Listas de ilustrações

Figura 1 – Esquema Refrator.	17
Figura 2 – Esquema Óptico do Telescópio Refrator com, Objetiva Cromática.	17
Figura 3 – Ilustração do Telescópio Refrator com a Objetiva Cromática, demonstrando uma imagem de Júpiter com dispersão óptica.	18
Figura 4 – Esquema Óptico do Telescópio Refrator com, Objetiva Acromática.	19
Figura 5 – Telescópios Refratores Modernos.	19
Figura 6 – Espelho Primário Básico e o Espelho Primário Intermediário	20
Figura 7 – Os espelhos de Hubble mostram exatamente o que já foi explicado no parágrafo acima sobre o espelho refletor com camada de alumínio e os multi-espelhos.	21
Figura 8 – Os espelhos de James Webb, também mostram exatamente o que já foi explicado, só que agora com diâmetro maior.	21
Figura 9 – Demonstração de passagem de luz para um telescópio refletor.	22
Figura 10 – Demonstração de passagem de luz para um telescópio refletor Cassegrain.	23
Figura 11 – Demonstração de passagem de luz para um telescópio refletor Gregoriano.	23
Figura 12 – Telescópio Refletor Moderno.	24
Figura 13 – Conjunto Óptico e Menisco Maksutov com o centro da face convexa metalizada.	25
Figura 14 – Demonstração de passagem de luz para o telescópio Rumak Maksutov.	25
Figura 15 – Demonstração de passagem de luz do telescópio Schmidt Cassegrain.	26
Figura 16 – Demonstração dos espelhos da placa Schmidt.	26
Figura 17 – Demonstração dos espelhos placa Corretora.	27
Figura 18 – Demonstração de rede de difração	27
Figura 19 – Demonstração da passagem de luz com lâminas de faces paralelas newtonianas.	28
Figura 20 – Demonstração da passagem de luz com lâminas de faces paralelas Cassegrain.	28
Figura 21 – Telescópio Catadióptrico Maksutov	29
Figura 22 – Edwin Powell Hubble.	30
Figura 23 – Lançamento: Ônibus Espacial Discovery.	31
Figura 24 – Primeira Imagem de Hubble.	32
Figura 25 – Conjuntos de espelhos.	33
Figura 26 – Antes e depois: Conserto do espelho de Hubble - Galáxia.	33
Figura 27 – Diagrama do Sistema Óptico do Hubble: Demonstrando espelhos primário e secundário.	34
Figura 28 – Demonstração de passagem de luz do telescópio espacial Hubble.	35

Figura 29 – Diagrama de Hubble: Demonstração de câmeras, espectrógrafos e inter-	36
ferômetros.	
Figura 30 – O astronauta Joseph Tanner está com um dos Sensores de Orientação	39
Fina do Hubble.	
Figura 31 – Os três Sensores de Orientação Fina (FGS) que estão representados	39
pelo Sistema de controle de apontamento do Hubble que também está	
incluído o Giroscópios e Rodas de Reação.	
Figura 32 – Diagrama de Hubble: Demonstrando Painéis Solares.	40
Figura 33 – PCU Hubble.	41
Figura 34 – Seis baterias de Hubble.	42
Figura 35 – Centro de Voo Espaciais de Goddard.	43
Figura 36 – Instituto de Ciências do Telescópio Espacial.	43
Figura 37 – Complexo Terrestre das Areias Brancas.	44
Figura 38 – Diagrama do Hubble: Demonstração das Antenas.	45
Figura 39 – Campo Ultra Profundo de Hubble, uma exposição de um milhão de	
segundos que descobre as primeiras galáxias a surgir do campo do	
universo chamado de “ <i>idades escuras</i> ”. Como descreve Massimo Stiavelli,	
ele diz que ‘O Hubble nos leva a um lance de pedra do próprio Big Bang’. .	47
Figura 40 – Buraco Negro: Durante 6 anos de observações, pela primeira vez, o	
Telescópio Espacial Hubble proporcionou indícios de um buraco negro	
solitário à deriva através do espaço por uma medição precisa da massa	
desse objeto. O buraco negro recente-detectado pelo Hubble está a cerca	
de 5.000 anos-luz de distância no braço espiral de Carina-Sagitário de	
nossa galáxia.	49
Figura 41 – Pilares da Criação: Três gigantes colunas de gás frio, banhadas pela luz	
ultravioleta escaldante de um aglomerado de estrelas maciças e jovens,	
em uma pequena extensão da Nebulosa Águia, cientificamente chamada	
M16.	50
Figura 42 – Nebulosa Carina: São torres de gás de hidrogênio ligadas com poeira	
e são vistas subindo ao longo da parede da nebulosa. Em seu topo	
há uma nuvem de gás e poeira com cerca de três anos-luz, que está	
sendo devorado pela luz intensa e pelos ventos das estrelas próximas.	
As estrelas formam grandes nuvens de gás e poeira. Os comprimentos	
de onda mais longos da luz infravermelha conseguem passar pela nu-	
vem sem serem muito afetados. A Câmera Infravermelha Próxima do	
Hubble possui a capacidade e a alta resolução necessárias para realizar	
importantes estudos sobre como as estrelas se formam. Essa nebulosa	
também é conhecida como “Montanha Mística”.	51

Figura 43 – Aurora Boreal na atmosfera de Júpiter: Durante uma série de observações feitas com luz ultravioleta pelo Telescópio Espacial Hubble, um grande espetáculo de luzes impressionantes foi registrado na atmosfera do planeta. Essas luzes são brilhos vívidos, conhecidos como auroras, criados quando partículas de alta energia entram na atmosfera de um planeta próximo aos polos magnéticos, colidindo com átomos de gás e produzindo uma bela vista.	52
Figura 44 – Cometa Shoemaker-Levy 9: O cometa foi descoberto pelos astrônomos Carolyn Shoemaker, Eugene M. Shoemaker e David H. Levy em 1993, sendo o primeiro cometa a orbitar um planeta, neste caso, Júpiter. Devido a isso, as forças de maré de Júpiter já haviam despedaçado o corpo celeste. Portanto, os 21 fragmentos do cometa estão em rota de colisão com Júpiter.	53
Figura 45 – Impacto do Cometa Shoemaker-Levy 9: Telescópio Espacial Hubble mostra o grande impacto onde um dos fragmentos do cometa colidiu com Júpiter.	54
Figura 46 – Interação dinâmica e impressionante de uma jovem estrela com seu ambiente. A Nebulosa da Bolha, com 7 anos-luz de diâmetro, está localizada a 7.100 anos-luz da Terra, na constelação de Cassiopeia. O Telescópio Espacial Hubble mostra uma enorme bolha que lembra uma bolha de sabão sendo soprado para o espaço por uma estrela extremamente quente e maciça.	55
Figura 47 – James Edwin Webb: Administrador da NASA.	57
Figura 48 – Lançamento do Ariane 5: Telescópio Espacial James Webb	58
Figura 49 – Campo Profundo de James Webb: Nossa origem, origem de todas as galáxias e estrelas do universo.	59
Figura 50 – Demonstração da passagem da luz pelo Telescópio Espacial James Webb.	62
Figura 51 – A estrutura do Painel Traseiro de James Webb.	62
Figura 52 – Configuração de montagem.	63
Figura 53 – Câmara Infravermelha Próxima (NIRCam).	64
Figura 54 – O Telescópio Espacial James Webb usa híbridos detectores infravermelhos. A camada absorvente pixelizada (HgCdTe ou Si:As) absorve a luz e a converte em tensões em píxeis individuais. As interconexões de índio unem cada píxel na camada absorvente ao Circuito Integrado de Leitura de Silício (ROIC). O ROIC contém circuitos eletrônicos que transportam os sinais de mais de 1 milhão de píxeis para apenas algumas leituras para processamento adicional.	65
Figura 55 – Espectrógrafo Infravermelho Próximo (NIRSpec).	66
Figura 56 – Instrumento de Infravermelho Médio (MIRI).	67

Figura 57 – Compressor Cryocooler (CCA).	68
Figura 58 – Sensor de Orientação Fina/Infravermelho Próximo e Espectrógrafo (FGS/NIRISS).	69
Figura 59 – Protetor Solar	71
Figura 60 – Ônibus Espacial.	72
Figura 61 – Instrumentos de James Webb.	73
Figura 62 – Os Pontos 1,2,3,4 e 5 de Lagrange	74
Figura 63 – Ponto L2: Telescópio Espacial James Webb.	74
Figura 64 – Urano e seus anéis escuros internos e externos, com 9 luas orbitando o planeta. James Webb mostra a calota sazonal da nuvem polar norte do planeta. À medida que Urano se inclina em direção ao Sol, aproximando-se do solstício, ele recebe mais luz solar.	75
Figura 65 – Galáxias Quinteto Stephan: Galáxias interligadas provocam a formação de estrelas umas nas outras, o que perturba o gás nas galáxias. Aqui também são mostrados fluxos de saída disparados por um buraco negro no Quinteto, com um nível de intensidade nunca visto antes. O Quinteto de Stephan está a 290 milhões de anos-luz de distância.	76
Figura 66 – Pilares da Criação: Uma nova visão com a luz do infravermelho próximo de James Webb nos ajuda a observar melhor o espaço de formação estelar. Esses Pilares da Criação se assemelham a aros e picos, mas são compostos gás e poeira semitransparentes. Nesse espaço, as estrelas jovens estão se formando. Essas estrelas em formação são mostradas como estrelas vermelhas brilhantes. As linhas que estão nas bordas dos pilares que parecem lava são erupções de estrelas que continuam se formando dentro do gás e da poeira. No segundo e no terceiro Pilares, o brilho carmesim vem das moléculas de hidrogênio energético que se originam de jatos e colisões. Os Pilares da Criação estão a 6.500 anos-luz de distância.	77
Figura 67 – Galáxia Fantasma: Uma galáxia espiral, também chamada de Messier 74 ou M74, é difícil de ser detectada por pequenos telescópios. A luz do infravermelho próximo de James Webb revela o gás e poeira dessa galáxia. A Galáxia Fantasma está a 32 milhões de anos-luz de distância.	78
Figura 68 – Nebulosa do Anel do Sul: James Webb captura a última imagem da nebulosa, com uma estrela anã branca em seu centro em seus últimos momentos de vida. A Nebulosa do Anel Sul expeliu anéis de gás e poeira por milhares de anos em todas as direções. A Nebulosa do Anel do Sul está a 2.000 anos-luz de distância.	79

Figura 69 – Nebulosa da Tarântula: A câmera de infravermelho próximo mostra a formação estelar da nebulosa em uma nova luz, revelando dezenas de milhares de estrelas jovens nunca vistas antes, que estavam encobertas por poeira cósmica. A região mais ativa parece brilhar com estrelas jovens massivas, com um brilho azul pálido. O espectrógrafo infravermelho próximo mostra uma estrela que está começando a emergir em seu pilar, que anteriormente sustentava uma nuvem isolante de poeira ao seu redor. No infravermelho médio, a região apresenta uma aparência diferente, com uma visão nos comprimentos de onda infravermelhos mais longos. As estrelas mais quentes desaparecem, enquanto gás e a poeira mais frios brilham. A Nebulosa da Tarântula está a 170 mil anos-luz de distância.	80
Figura 70 – Galáxia Roda de Carroça: Uma visão espetacular de galáxias em colisão. James Webb revelou novos detalhes sobre a formação das estrelas e o buraco negro central da galáxia. O infravermelho produziu imagens detalhadas da Galáxia Roda de Carroça e de duas galáxias companheiras menores em um campo repleto de outras galáxias. A Galáxia Roda de Carroça está a 500 milhões de anos-luz de distância.	81
Figura 71 – Nebulosa Carina: Uma visão em formato de montanhas e vales com estrelas brilhantes espalhadas por toda a sua extensão. Uma formação estelar conhecida como NGC 3324, localizada na direção da Nebulosa Carina. A luz infravermelho do Webb captura imagens de áreas anteriormente invisíveis de nascimento de estrelas. A Nebulosa Carina está a 7.600 anos-luz de distância da Terra.	82
Figura 72 – Exoplaneta Wasp-39b: Recente descoberta de dióxido de carbono em sua atmosfera, orbitando uma estrela anã amarela similar ao Sol. Essa é a primeira evidência clara e detalhada de dióxido de carbono detectado na atmosfera de um exoplaneta. O Exoplaneta Wasp-39b está a 700 anos-luz de distância da Terra.	83
Figura 73 – Espelhos: Hubble x James Webb	86
Figura 74 – Hubble X James Webb	87
Figura 75 – Nebulosa Anel do Sul	88
Figura 76 – Nebulosa Pilares da Criação	89
Figura 77 – Nebulosa da Tarântula	90
Figura 78 – Nebulosa Carina	91
Figura 79 – Galáxia Cata-Vento do Sul	92

Listas de tabelas

Tabela 1 – Os instrumentos científicos do Hubble analisam diferentes tipos de luz que vão desde ultravioleta(UV) até infravermelho(IR). Nessa tabela mostra quais comprimentos de onda cada instrumento estuda.	37
Tabela 2 – O Espectrógrafo de Imagens do Telescópio Espacial (STIS) do Hubble capturou um espectro (à direita) de material lançado por um par de estrelas massivas chamadas de Eta Carinae, sempre que a Câmara de Campo Amplo e a Câmera planetária 2 tirou, uma imagem das nuvens ondulantes de gás que envolvem o par estelar (à esquerda). Assim, o espectro mostra que um dos lóbulos contém os elementos de hélio(He), argônio(Ar), ferro(Fe) e o níquel(Ni).	38
Tabela 3 – Diagrama da passagem de dados do Hubble.	46
Tabela 4 – Nuvens de Netuno e o Ciclo Solar: Segmento de imagens do Telescópio Espacial Hubble que mostra a ligação entre a mudança do excesso de nuvens de Netuno e o Ciclo Solar de 11 anos. Neste ciclo, o aumento e a diminuição dos campos magnéticos entrelaçados do Sol geram atividade solar. Este extenso conjunto de observações de Netuno mostra que o número de nuvens aumenta gradativamente ao longo de anos após um pico no ciclo solar. A atividade do nível do Sol cresce claramente e desce no decorrer de um período de 11 anos.	48
Tabela 5 – Os segmentos A, B e C têm uma cor para cada segmento, o que mostra que cada um tem prescrições diferentes para o telescópio.	60
Tabela 6 – Demonstração dos espelhos que constituem o Telescópio Espacial James Webb.	61
Tabela 7 – Nessa tabela mostram-se as faixas de comprimento de onda. O NIRCam, o NIRSpec cobrem a faixa de 0,6 a 5 mícrons; o MIRI cobre a faixa de 5 a 28 mícrons; e o FGS/NIRISS cobre a faixa de 0,8 a 5,0 mícrons. . .	70
Tabela 8 – Hubble X James Webb	84
Tabela 9 – Comprimento de Onda	85

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo Geral	16
1.2	Objetivo Específico	16
2	TIPOS DE TELESCÓPIOS	17
2.1	Telescópio Refrator	17
2.2	Telescópio Refletor	19
2.3	Telescópio Catadióptrico	24
3	HUBBLE	30
3.1	História	30
3.2	Características	34
3.3	Descobertas	47
4	JAMES WEBB	56
4.1	História	56
4.2	Característica	59
4.3	Descobertas	75
5	COMPARAÇÃO ENTRE HUBBLE E JAMES WEBB	84
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	REFERÊNCIAS	94

1 Introdução

Nos últimos anos, o desenvolvimento relacionado ao universo cresceu exponencialmente e, quanto mais luz coletamos, mais descobertas são feitas, surpreendendo-nos com o que observamos. Várias imagens espetaculares são divulgadas para o mundo. Contudo, apenas ver essas imagens, que estão sendo divulgadas pelas redes sociais com uma breve informação sobre elas, nunca chegará perto do quão extraordinário é e de como surgiram de fato essas imagens. Nunca passa pela mente como realmente um telescópio consegue coletar a luz e transmitir imagens que podemos ver diretamente ou através de dados por um computador.

O telescópio é um instrumento científico usado para coletar luz dos objetos que compõem o universo. O telescópio refrator coleta luz através das lentes, o refletor utiliza espelhos e o catadióptrico emprega ambos. Os telescópios mais usados são os refratores e os refletores; o catadióptrico é mais complexo de construir e não é muito divulgado. Galilei Galileu (1569-1642) foi um dos primeiros a registrar as observações com um telescópio refrator, e, a partir daí, outros cientistas aprimoraram o design inicial, como Isaac Newton (1643-1727), que fez o primeiro telescópio refletor, e Bernhard Schmidt (1879-1935), que fez o primeiro telescópio catadióptrico.

Esse conhecimento cresceu tanto que começaram a pensar em construir telescópios fora da Terra. Se é possível construir telescópios na Terra, por que não construir um para fora do planeta? E sim, foi feito! Em 1990, ocorreu o lançamento do primeiro telescópio espacial, nomeado Hubble. Foi o maior avanço em toda a ciência daquela época. Além de mostrar como começou a sua história, também apresentaremos todas suas características e algumas de suas descobertas. Cada imagem é comovente e surpreendente. Pelo menos para a época, foi um grande avanço para a astronomia. Até hoje, Hubble nos surpreende com suas observações.

Embora Hubble esteja até hoje em funcionamento, foi feito um telescópio muito mais avançado e maior que ele. Logo após o lançamento de Hubble, iniciou-se um novo projeto: um telescópio para ir ao espaço, mas não onde Hubble está orbitando, e sim algo muito mais além, distanciando-se da Terra para buscar mais profundamente no desconhecido. Esse telescópio foi lançado em 2021, depois de quase 15 anos de trabalho. Seu nome é telescópio espacial James Webb, e ele está sendo conhecido como o "pai" de todos os telescópios. Além de descrever sua história e as características que o compõem, também revelamos grandes descobertas e imagens muito além do que imaginávamos existir. James Webb foi muito mais profundo e está, cada dia, nos surpreendendo com imagens espetaculares.

Telescópios terrestres e espaciais são modelos de instrumentos que sempre serão importantes se quisermos estudar o universo. Eles são nossos olhos lá em cima, também conhecidos como "máquinas do tempo", já que, ao olharmos para cima, estamos observando o passado. Portanto, se você também os vê como os instrumentos mais importantes para observar os céus, vai gostar desse trabalho. Nele está contida uma pesquisa detalhada de cada detalhe que existiu durante a trajetória de sua história até os dias atuais.

1.1 Objetivo Geral

Apresentar o resultado de uma pesquisa exploratória a respeito dos telescópios Hubble e James Webb.

1.2 Objetivo Específico

- Apresentar as principais características do telescópio espacial Hubble.
- Apresentar as principais características do telescópio espacial James Webb.
- Fazer uma comparação entre os dois telescópios.

2 Tipos de Telescópios

2.1 Telescópio Refrator

O telescópio refrator trabalha com a refração da luz. Quando a luz passa por uma lente, ela forma uma imagem. Este telescópio tem uma lente objetiva que recebe a luz e uma lente ocular que amplia a imagem. A objetiva é o ponto para onde convergem os raios luminosos. A distância da objetiva ao ponto focal é chamada de comprimento focal. A ocular trabalha com o aumento da imagem formada pela objetiva. Ela funciona como uma lupa. As distâncias focais entre as duas lentes definem o aumento do telescópio (FILHO, 2018) (FORCA EVERTON PIZA PEREZ; ALVES, 2009).

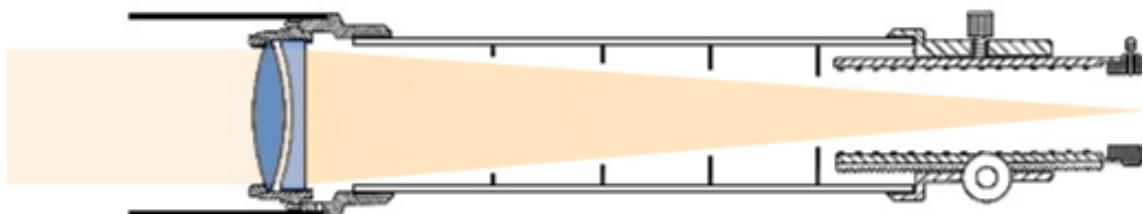


Figura 1 – Esquema Refrator.
Fonte: (FILHO, 2018)

O telescópio refrator mais antigo é o de Galileu Galilei, que também é conhecido como luneta. Seu telescópio contém um tubo com duas lentes: a objetiva cromática, por onde a luz entra, e a ocular, que funciona como uma lupa para aumentar a imagem observada.

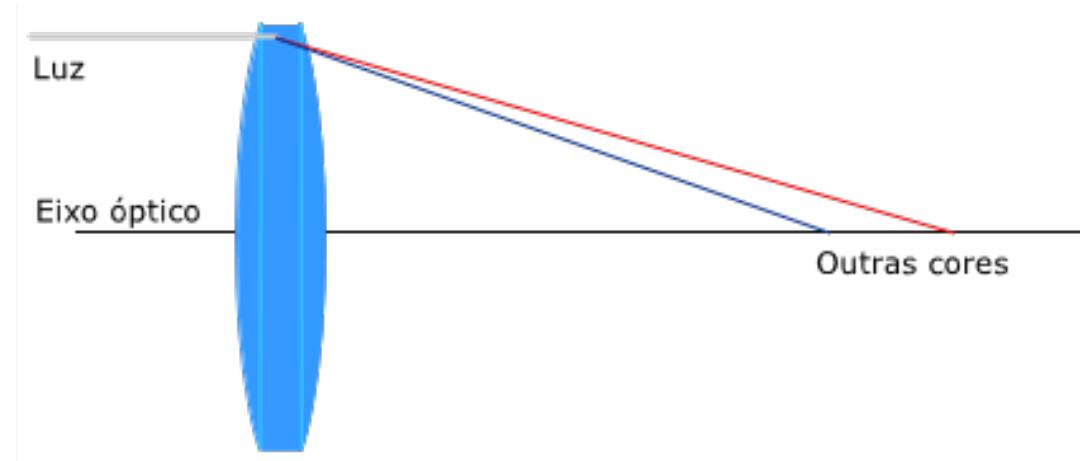


Figura 2 – Esquema Óptico do Telescópio Refrator com, Objetiva Cromática.
Fonte: (FILHO, 2018)

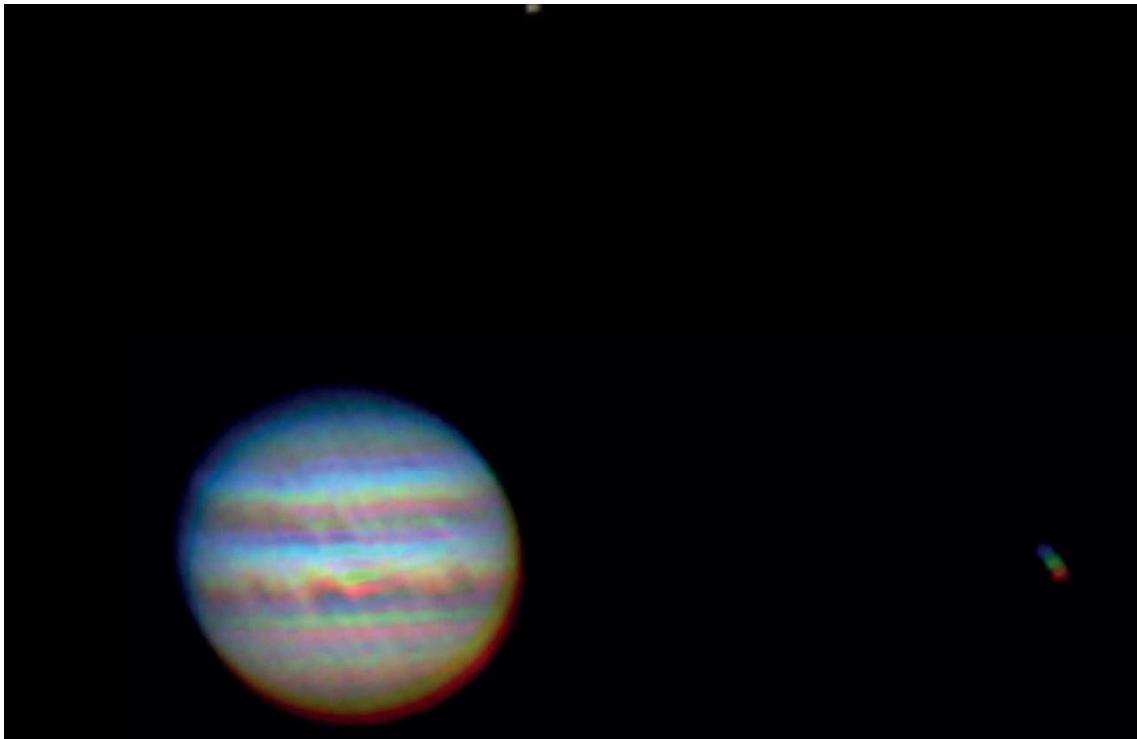


Figura 3 – Ilustração do Telescópio Refrator com a Objetiva Cromática, demonstrando uma imagem de Júpiter com dispersão óptica.

Fonte: ([NIMAX, 2011-2023](#))

A Figura 3 está demonstrando um esquema óptico de uma objetiva simples cromática. Quando os raios luminosos atingem a lente, ocorre uma dispersão óptica, ou seja, o valor do seu índice de refração é diferente para cada comprimento de onda da luz. O modelo de Galileu Galilei tinha essa aberração cromática. Mesmo assim, ele fez seus experimentos e conseguiu descobrir vários astros que nunca foram vistos. As imagens, porém, estavam com um aspecto borrado e com as cores dos objetos deslocadas, ou seja, desfocadas ([PIONORIO N. RODRIGUES JR; BERTUOLA, 2008](#)) ([NIMAX, 2011-2023](#)).

Os telescópios refratores só se desenvolveram e começaram a atingir suas dimensões atuais com a objetiva acromática, como demonstrado pela Figura 4 ([FILHO, 2018](#)).

As objetivas acromáticas são compostas por duas lentes: a primeira é uma lente biconvexa e a segunda, plano-côncava. Essas duas lentes são desenvolvidas com diferentes tipos de vidros. A primeira lente é desenvolvida por um vidro menos denso e a segunda lente por um vidro de maior densidade. Devido a essa maior densidade, as diferentes cores sofrem um desvio e interceptam o eixo óptico praticamente no mesmo ponto. Desse modo, a aberração cromática é bem reduzida ([FILHO, 2018](#)). Com essas mudanças, hoje temos vários telescópios que estão sendo demonstrados na Figura 5, que é muito utilizada por astrônomos amadores.

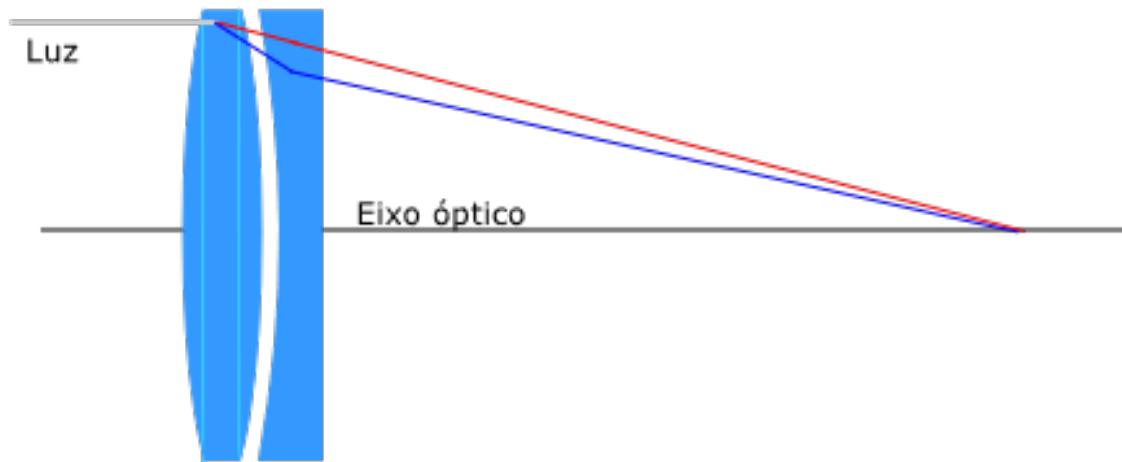


Figura 4 – Esquema Óptico do Telescópio Refrator com, Objetiva Acromática.

Fonte: ([FILHO, 2018](#))



Figura 5 – Telescópios Refratores Modernos.

Fonte: ([TOLENTINO, 2011-2023](#))

2.2 Telescópio Refletor

Os telescópios refletores têm uma objetiva que é um espelho de superfície côncava. Esse espelho é chamado de primário e contém também um espelho secundário menor do que o primário. O espelho primário é feito em blocos de vidro e sobre a superfície côncava é depositada uma camada de alumínio, essa camada é responsável pela reflexão da luz ([FILHO, 2018](#)). Na Figura 6, mostra os tipos de espelhos:



Figura 6 – Espelho Primário Básico e o Espelho Primário Intermediário
Fonte: ([FILHO, 2018](#))

A Figura 6 mostra o espelho primário básico de 180mm de diâmetro, um dos mais procurados. Ele também proporciona bom aumento, boa captação de luz, poder de separação e magnitude limite. O espelho intermediário possui a óptica básica para um telescópio totalmente funcional. Pois com o espelho primário, o espelho secundário e uma ocular, o telescópio já funciona e gera imagens ([FILHO, 2018](#)).

Assim, os telescópios refletores têm uma grande vantagem: eles não possuem a aberração cromática. A luz não atravessa o vidro como ocorre nos refratores, pois é refletida pela superfície côncava do espelho. Além disso, os refletores contêm objetivas de maior diâmetro e o comprimento do tubo do telescópio é bem menor se comparado com os refratores. Assim, por enquanto, preferem fazer um único grande espelho côncavo. Eles pegam vários espelhos menores, os agrupam lado a lado e os orientam por um computador como se fosse um único espelho enorme. Isso é chamado de multi-espelho ([TOLENTINO, 2011-2023](#)) Nas Figuras 7 e 8 mostram tipos de multi-espelhos.

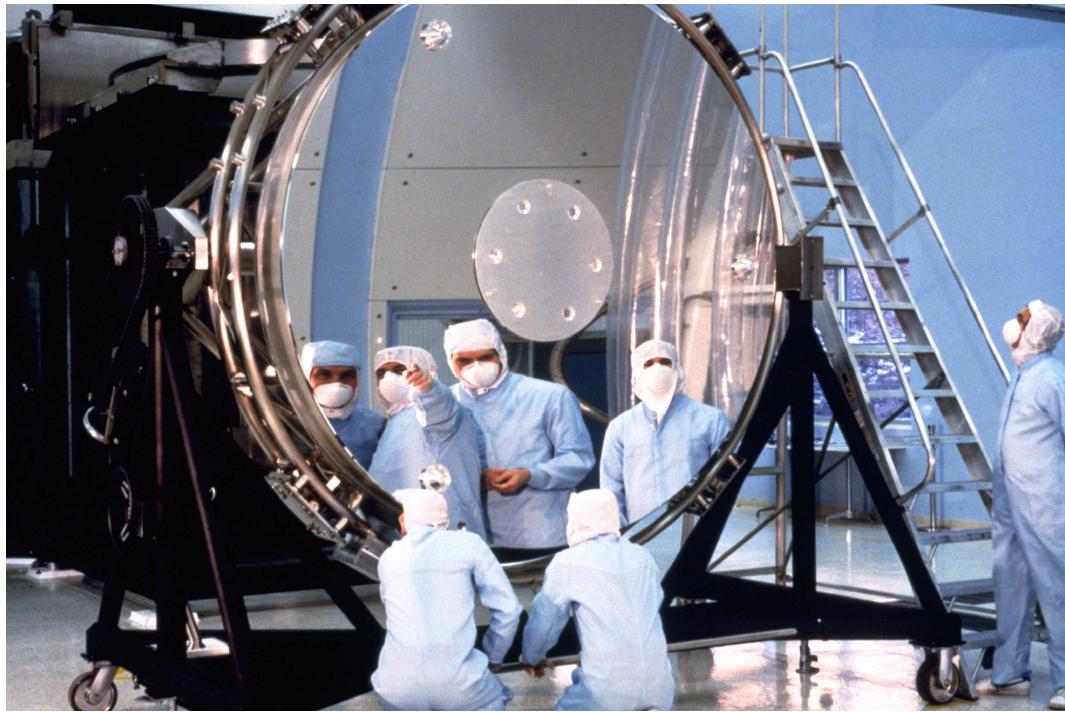


Figura 7 – Os espelhos de Hubble mostram exatamente o que já foi explicado no parágrafo acima sobre o espelho refletor com camada de alumínio e os multi-espelhos.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

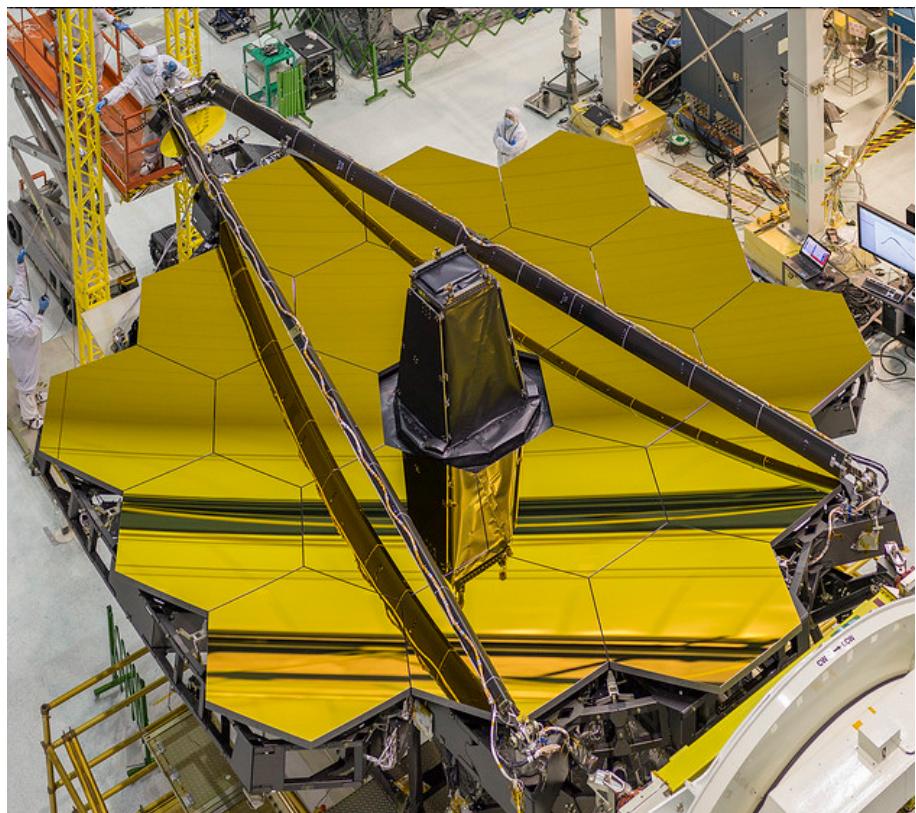


Figura 8 – Os espelhos de James Webb, também mostram exatamente o que já foi explicado, só que agora com diâmetro maior.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Apesar desse telescópio ter os espelhos muito bem feitos, a sua estrutura compartilhada com esses espelhos também é muito bem feita. Assim, a característica do refletor é que a luz entra pelo tubo e vai na direção do espelho côncavo. Quando ela bate no espelho, reflete na direção do espelho plano, que reflete a imagem para a ocular. Essa transição é mostrada na Figura 9.

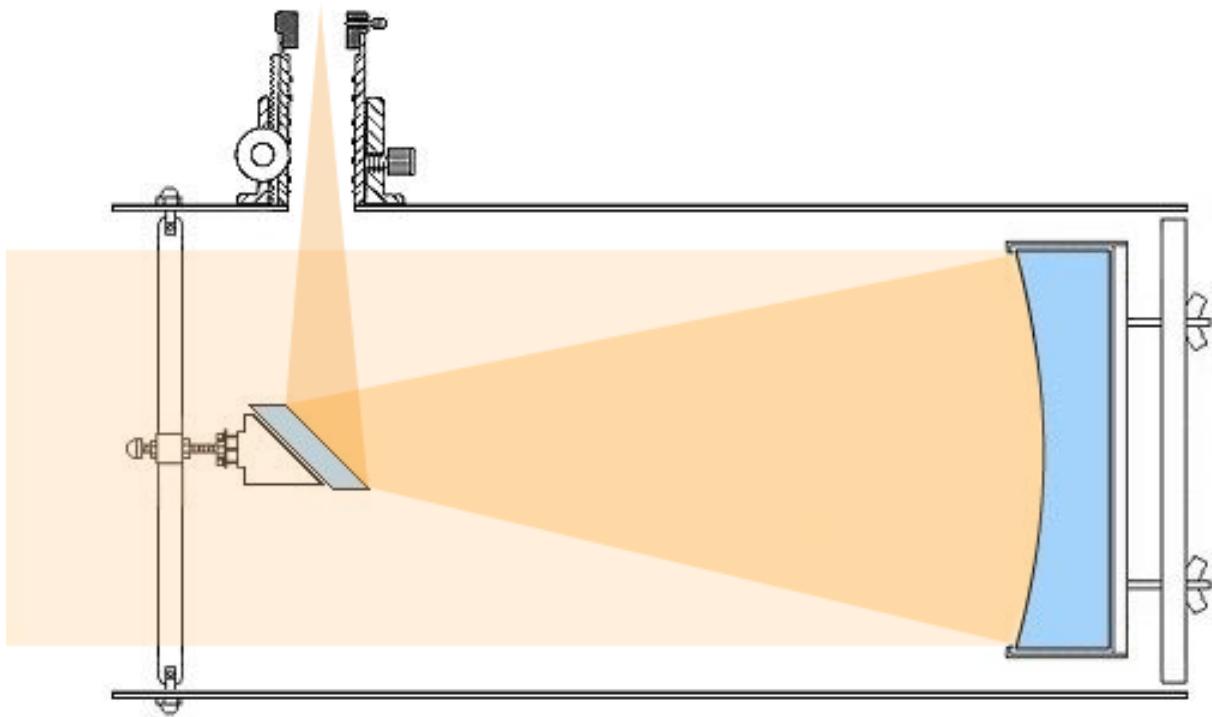


Figura 9 – Demonstração de passagem de luz para um telescópio refletor.

Fonte: ([FILHO, 2018](#))

O telescópio de Newton também é refletor. É de onde o telescópio Refletor se origina. Existem outros tipos de telescópio refletor, como o Cassegrain. Ele possui um espelho primário de pequena distância focal. Assim, tem uma superfície parabólica e um orifício central por onde passam os raios luminosos. O seu espelho secundário possui uma superfície convexa e hiperbólica, de difícil confecção ([FILHO, 2018](#)). O telescópio Cassegrain é mostrado na Figura 10.

A Figura 10, ao captar a luz de um objeto, o espelho primário reflete os raios luminosos para o espelho secundário. Esse espelho possui sua superfície voltada para o espelho primário e reflete a luz novamente para o espelho principal, passando pelo orifício central, que está logo atrás da ocular. Assim, o telescópio Cassegrain tem uma observação feita de modo semelhante a uma luneta e não a um telescópio newtoniano ([FILHO, 2018](#)).

Outro tipo é o Gregoriano, que é um instrumento que possui um espelho primário de curta distância focal e um orifício central. A principal diferença entre ele e o Cassegrain está no espelho secundário, que possui uma superfície côncava e de forma elíptica. A superfície do secundário também é voltada para o espelho principal, mas ele é colocado

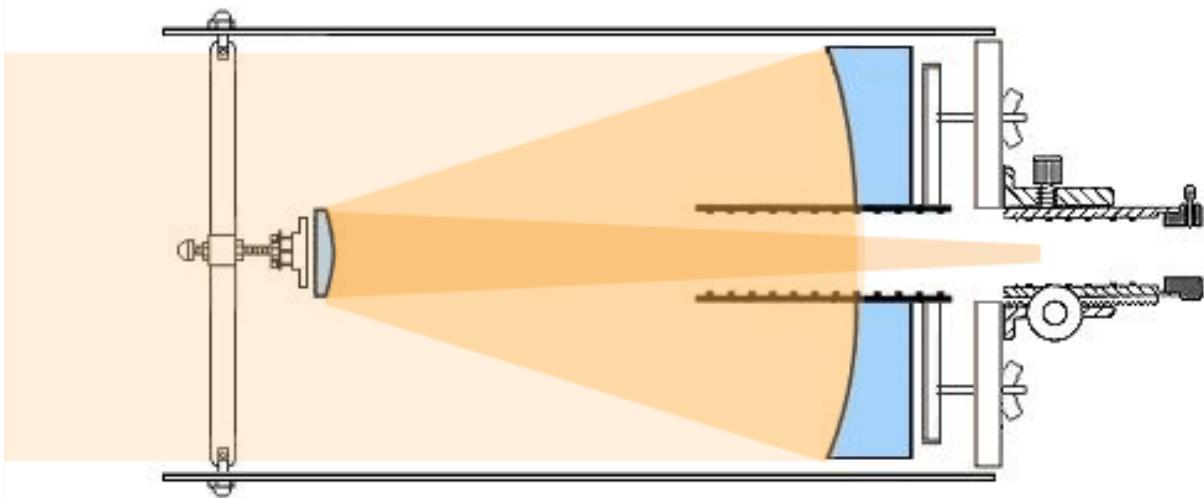


Figura 10 – Demonstração de passagem de luz para um telescópio refletor Cassegrain.

Fonte: ([FILHO, 2018](#))

atrás do foco do espelho primário, diferentemente do Cassegrain, onde o secundário é colocado antes do foco ([FILHO, 2018](#)).

O telescópio Gregoriano é mostrado na Figura 11.

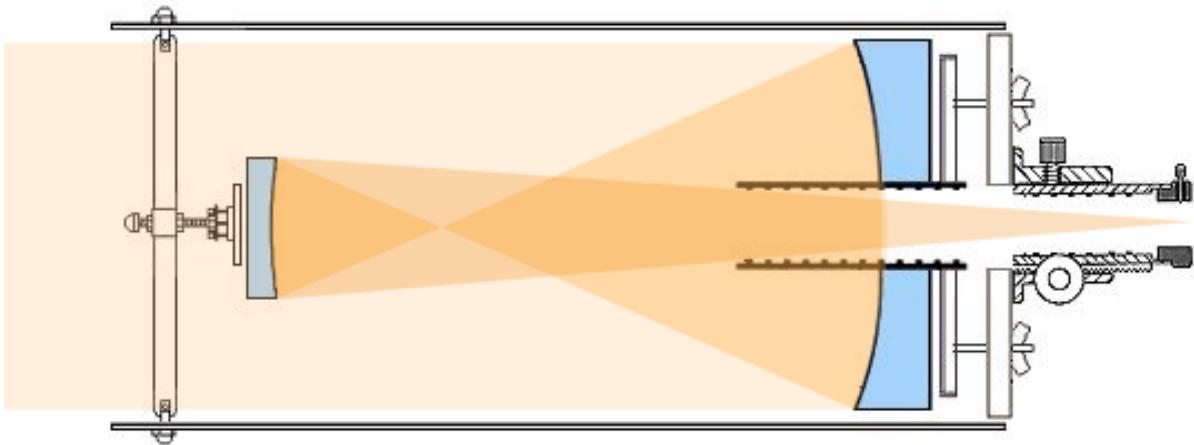


Figura 11 – Demonstração de passagem de luz para um telescópio refletor Gregoriano.

Fonte: ([FILHO, 2018](#))

Assim, o telescópio Gregoriano possui um tubo mais longo do que o Cassegrain, mas com as mesmas características. Seu secundário também possui um fator de ampliação, o que torna este instrumento um telescópio de grande distância focal ([FILHO, 2018](#)).

Uma vantagem do telescópio refletor é que, como a luz é refletida para a objetiva em vez de passar através dela, apenas um lado da objetiva precisa ser impecável. Apesar de ser um telescópio esplêndido, ele tem algumas desvantagens, como a facilidade de

desalinhado. O tubo no lado da óptica do telescópio é aberto, o que faz com que ele precise ser limpo com frequência e fique suscetível à umidade ([TOLENTINO, 2011-2023](#)).

O espelho secundário é constantemente usado para desviar a luz para um ponto de visão mais confortável (TOLENTINO, 2011-2023).



Figura 12 – Telescópio Refletor Moderno.
Fonte: ([FERREIRA, 2024](#))

2.3 Telescópio Catadióptrico

O telescópio catadióptrico é uma combinação dos refratores com refletores em seu design óptico. A refração ocorre quando a luz passa por um componente de vidro na extremidade do tubo do telescópio, e a reflexão é feita com espelhos primários e secundários, respectivamente (TOLENTINO, 2011-2023). Os itens catadióptricos mais básicos são:

- Menisco Maksutov;
- Placa corretora Schmidt;
- Lâmina de faces paralelas;

Todos esses três elementos são difíceis de construir. O menisco Maksutov é uma solução para a aberração esférica. Ele foi projetado na década de 1940 por pesquisadores. Essa solução é um corretor na forma de menisco (Menisco é uma lente convexa-côncava mais espessa no centro do que nas bordas). O menisco elimina a aberração esférica de um espelho primário, pois produz uma aberração esférica inversa no espelho primário. Assim, essa invenção foi publicada por MaksutOVY, hoje é conhecido como Maksutov ([FILHO, 2018](#)).

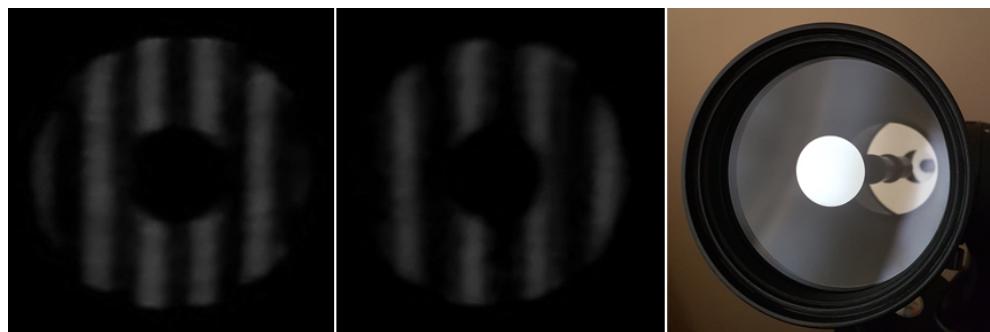


Figura 13 – Conjunto Óptico e Menisco Maksutov com o centro da face convexa metalizada.
Fonte: ([FILHO, 2018](#))

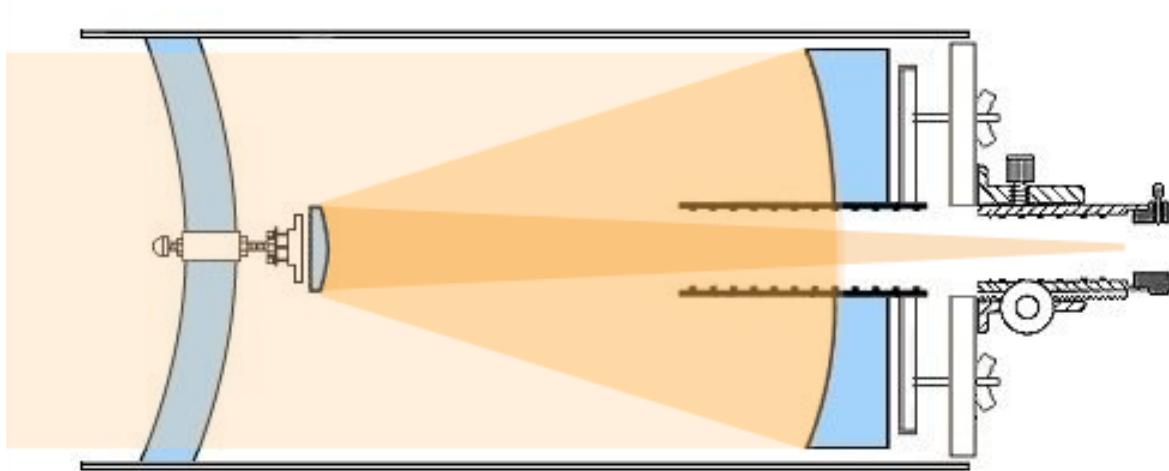


Figura 14 – Demonstração de passagem de luz para o telescópio Rumak Maksutov.
Fonte: ([FILHO, 2018](#))

A placa corretora Schmidt veio depois da construção das placas paralelas que constituem o telescópio Schmidt. Na Figura 15 está demonstrando que a refração ocorre quando a luz atravessa a placa corretora que está instalada na extremidade superior do

tubo do telescópio. A placa corretora também sustenta o espelho secundário e o seu suporte, pois as hastas da aranha do telescópio catadióptrico são eliminadas ([FILHO, 2018](#)).

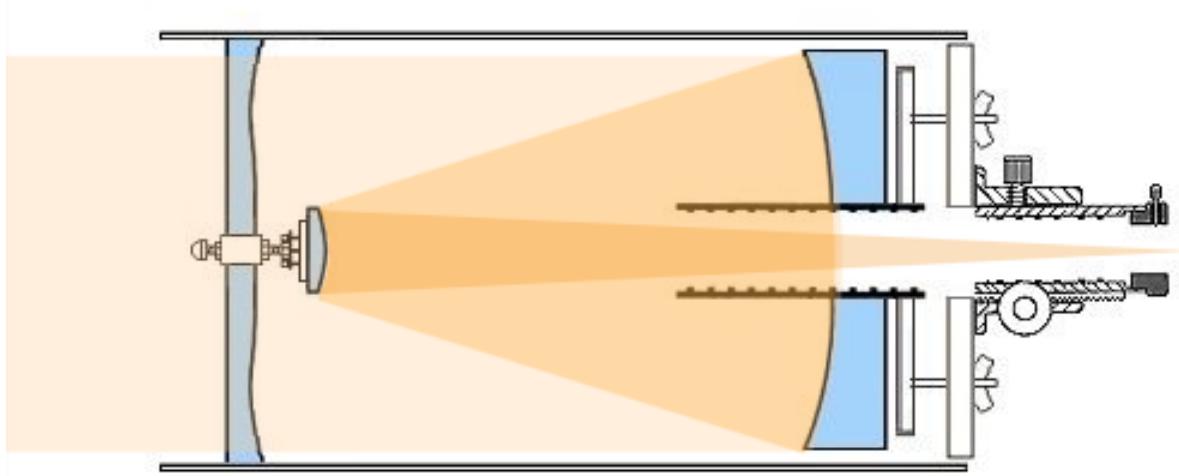


Figura 15 – Demonstração de passagem de luz do telescópio Schmidt Cassegrain.

Fonte: ([FILHO, 2018](#))

Essa placa também possui a função de corrigir a aberraçāo esférica do espelho primário, porque nesse telescópio o espelho principal possui razāo focal pequena e com a superfície esférica. Por outro lado, ele não corrige só a aberraçāo esférica, a placa corretora também reduz a curvatura de campo diminuindo o efeito “coma” (tipo de aberraçāo óptica) que é muito comum em telescópios de distância focal reduzida. Com essa placa se constrói telescópios Schmidt-Newtonianos e Schmidt-Cassegrains ([FILHO, 2018](#)).

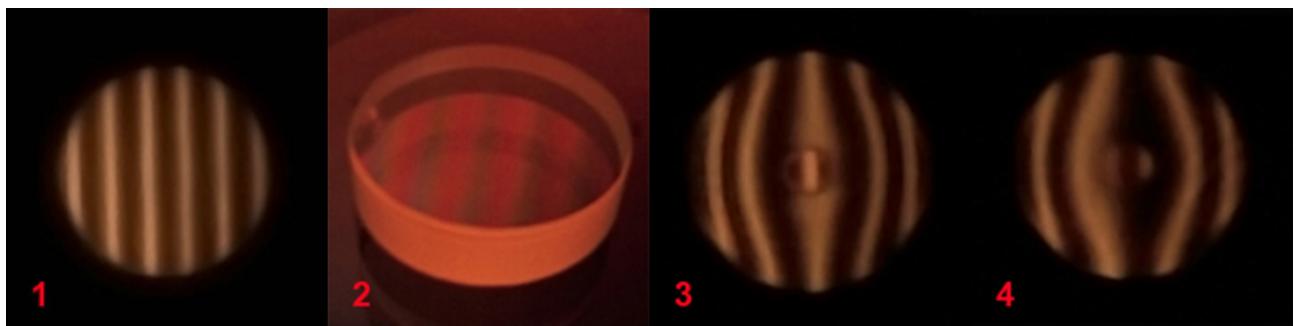


Figura 16 – Demonstração dos espelhos da placa Schmidt.

Fonte: ([FILHO, 2018](#))

Na Figura 16, 1. Mostra o espelho primário esférico aferido com uma rede de difraçāo de 6 linhas por milímetro.

2. A face plana da placa corretora foi aferida com um padrão óptico, com linhas retas e paralelas mostrando grande precisão na superfície.

3 e 4. Na placa Schmidt, ocorre uma mudança no aspecto do espelho e as linhas aparecem de modo semelhante a um espelho parabólico. Assim, a função da placa corretora

é corrigir a aberração esférica do primário. A placa corretora Schmidt é responsável pela parabolização do espelho primário ([FILHO, 2018](#)).

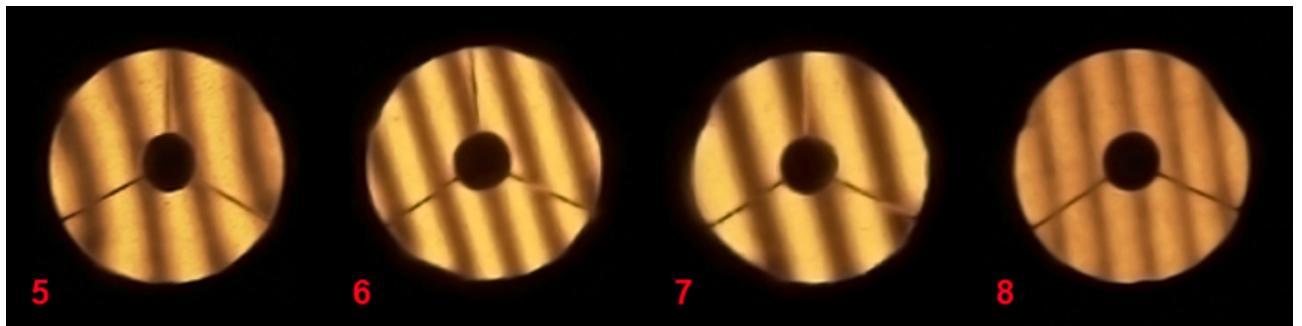


Figura 17 – Demonstração dos espelhos placa Corretora.

Fonte: ([FILHO, 2018](#))

Na Figura 17, **5**. Um conjunto de espelhos primário e secundário (sem a placa corretora instalada no tubo), com a utilização da aranha para firmar o espelho secundário. Observamos que há uma forma esferoide indicando a falta de correção do espelho primário, e notamos também 3 hastes do suporte do espelho secundário.

6 e 7. Conjunto óptico com a adição da placa corretora. Observando claramente uma mudança na óptica: linhas retas e paralelas indicam a total correção do espelho primário.

8. O mesmo que ocorre nas **6 e 7**, só que dessa vez com uma rede de difração de 6 linhas por milímetro ([FILHO, 2018](#)).

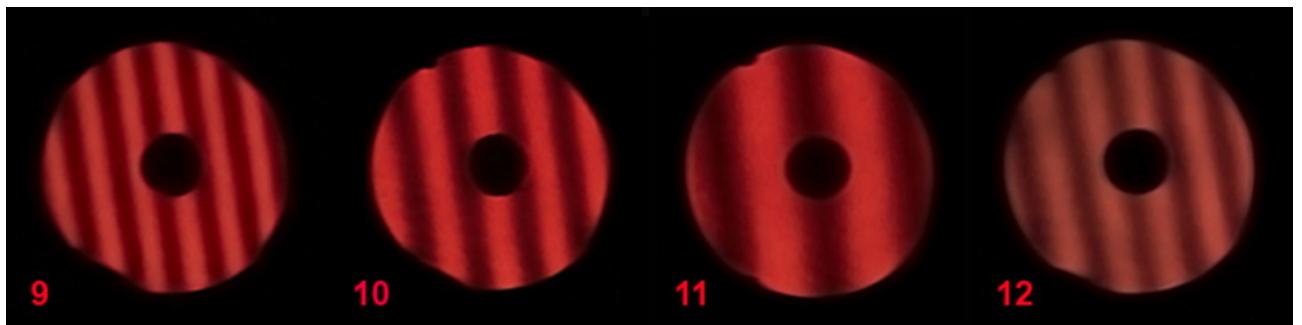


Figura 18 – Demonstração de rede de difração

Fonte: ([FILHO, 2018](#))

Na Figura 18. **9, 10 e 11.** Foram obtidas imagens com a rede de difração de 4 linhas por milímetro.

12. A figura mostra que a imagem foi obtida com rede de difração de 6 linhas por milímetro. Assim, as imagens **9, 10, 11 e 12** mostram o teste do telescópio sem a aranha e com o secundário instalado na placa corretora ([FILHO, 2018](#)).

Ainda mais, a lâmina de faces paralelas possui duas superfícies planas e paralelas entre si. No início, sua construção é fácil, porque suas faces são planas. Mas, mesmo assim,

esse elemento é de difícil construção, porque é preciso que ambas as superfícies tenham uma precisão óptica grande ([FILHO, 2018](#)).

Essas superfícies são avaliadas usando um padrão óptico chamado de interferência de ondas (o mesmo processo usado para aferir espelhos planos). Para construir a lâmina de faces paralelas, é preciso usar um padrão óptico plano de grande precisão ([FILHO, 2018](#)).

Nas Figuras 19 e 20 mostra-se a passagem de luz para lâminas paralelas.

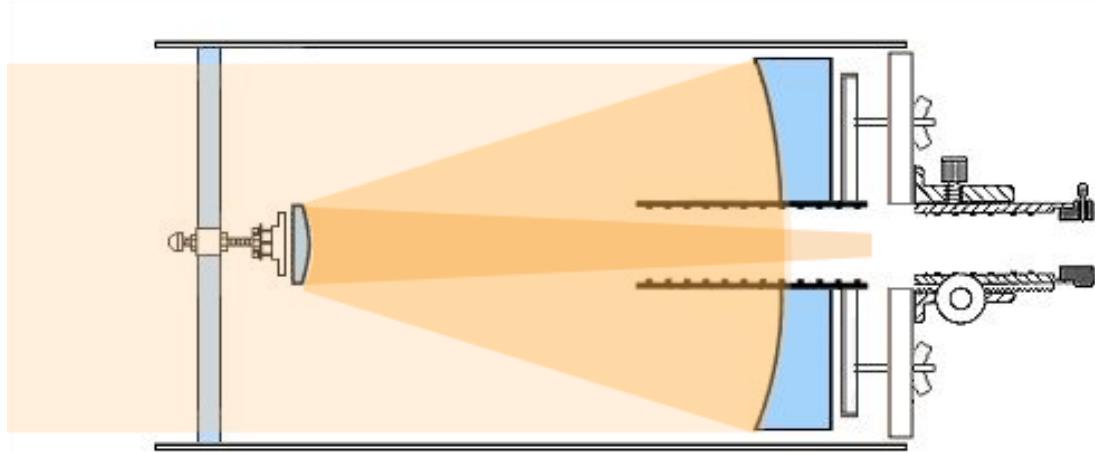


Figura 19 – Demonstração da passagem de luz com lâminas de faces paralelas newtonianas.

Fonte: ([FILHO, 2018](#))

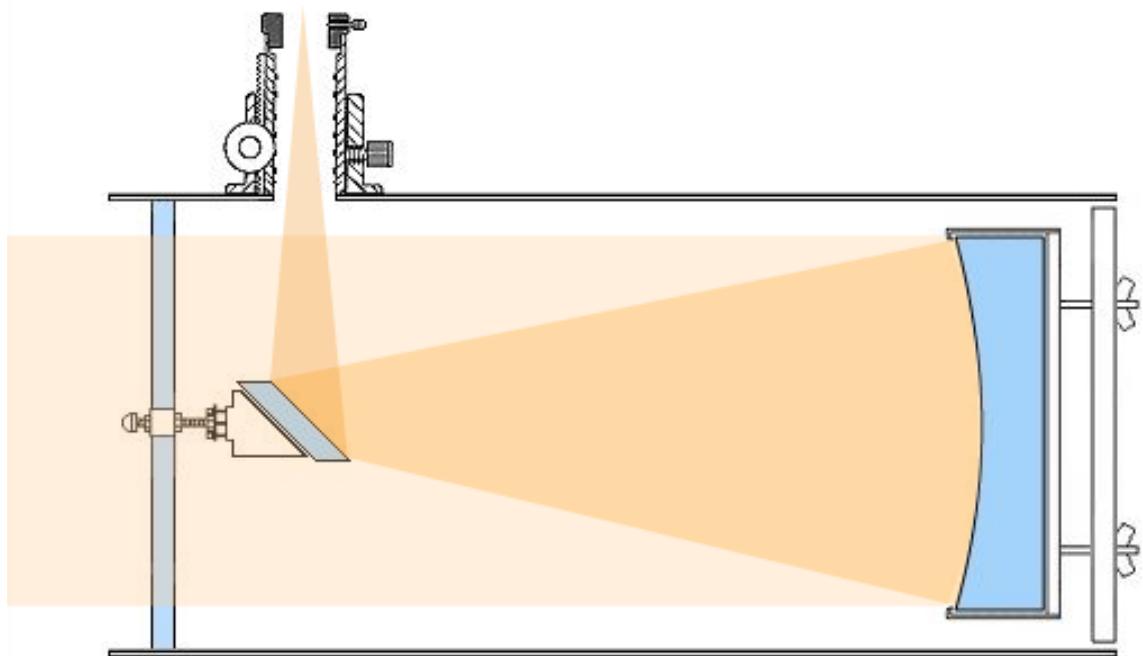


Figura 20 – Demonstração da passagem de luz com lâminas de faces paralelas Cassegrain.

Fonte: ([FILHO, 2018](#))

Portanto, o menisco de Maksutov é uma lente delgada e as curvaturas de suas superfícies são bem acentuadas. As faces da placa corretora Schmidt têm uma superfície plana e a outra possui alteração. Essa alteração é muito pequena e só visível por meio de testes ópticos. Tanto o menisco quanto as faces da placa corretora Schmidt não são planas ([FILHO, 2018](#)).



Figura 21 – Telescópio Catadióptrico Maksutov
Fonte: ([FILHO, 2018](#))

3 Hubble

3.1 História

No início do século XX, as pessoas ainda acreditavam que o universo era formado exclusivamente pela nossa Via Láctea. Até que o astrônomo Edwin Powell Hubble (1889-1953), por meio de métodos rigorosos de observações astronômicas, das leis empíricas e das teorias científicas à disposição, em 1923, utilizando o telescópio de 2,5 metros do Monte Wilson, observou estrelas individuais em uma das nebulosas de Wright e Kant, a Grande Nebulosa de Andrômeda, uma das maiores. Ela foi chamada assim, por ser vista na região do céu onde se localiza a constelação de Andrômeda. Durante o estudo preciso das propriedades luminosas destas estrelas, Hubble conseguiu medir a distância até elas e, por consequência, até a Grande Nebulosa. O resultado foi excepcional: a distância até a nebulosa era muito maior que o tamanho da própria Via Láctea. Com suas observações, ele percebeu que as manchas luminosas no céu eram, na verdade, um sistema estelar tão grandioso quanto aquele em que o Sol e a nossa Terra estavam situados. Essas manchas luminosas passaram a ser chamadas de Galáxias. Além dessa galáxia, outras também foram estudadas pelo Hubble. A partir destas observações, ele descobriu que o universo está se afastando, ou seja, está em expansão ([CASAS; MORÃO, 1999](#)).



Figura 22 – Edwin Powell Hubble.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O que mais perturbava era o aspecto que um telescópio terrestre distorcia do universo. A atmosfera atrapalhava muito. A ideia de ter um telescópio acima da atmosfera proporcionaria uma vista real de como o universo é de verdade, sem nada que o interfira. Assim, em 1923, o cientista alemão Hermann Oberth (1894-1989), que foi um dos três pais do foguete moderno (juntamente com Robert Goddard e Konstantin Tsiolkovsky), publicou “O Foguete no Espaço Planetário”. Na obra, ele mencionou como um telescópio poderia ser lançado para a órbita da Terra por um foguete ([DUNBAR, 2023](#)). Então, em 1946, o astrofísico Lyman Spitzer (1914-1997) escreveu sobre as vantagens científicas de um telescópio no espaço, acima da atmosfera turbulenta da Terra ([DUNBAR, 2023](#)).

Muitos disseram que essa ideia era uma ficção científica, um sonho impossível. Mas os astrônomos começaram a pensar: se os espelhos fossem apontadas para fora do planeta, o que poderia ser encontrado?

O telescópio Hubble é o resultado de mais de 20 anos de trabalho de cerca de 10 mil cientistas e engenheiros. Assim, em 24 de abril de 1990, aconteceu o lançamento do telescópio: a decolagem do ônibus espacial Discovery com o telescópio Hubble ([WHALEM, 2020](#)).



Figura 23 – Lançamento: Ônibus Espacial Discovery.
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Após o lançamento, sua trajetória até a órbita da Terra foi um sucesso. Naquela época, o Hubble era manchete no mundo todo. Mas o astrônomo Chris Burrows estava esperando as primeiras imagens e, infelizmente, ficou decepcionado ao descobrir que a imagem não estava perfeita ([WHALEM, 2020](#)).

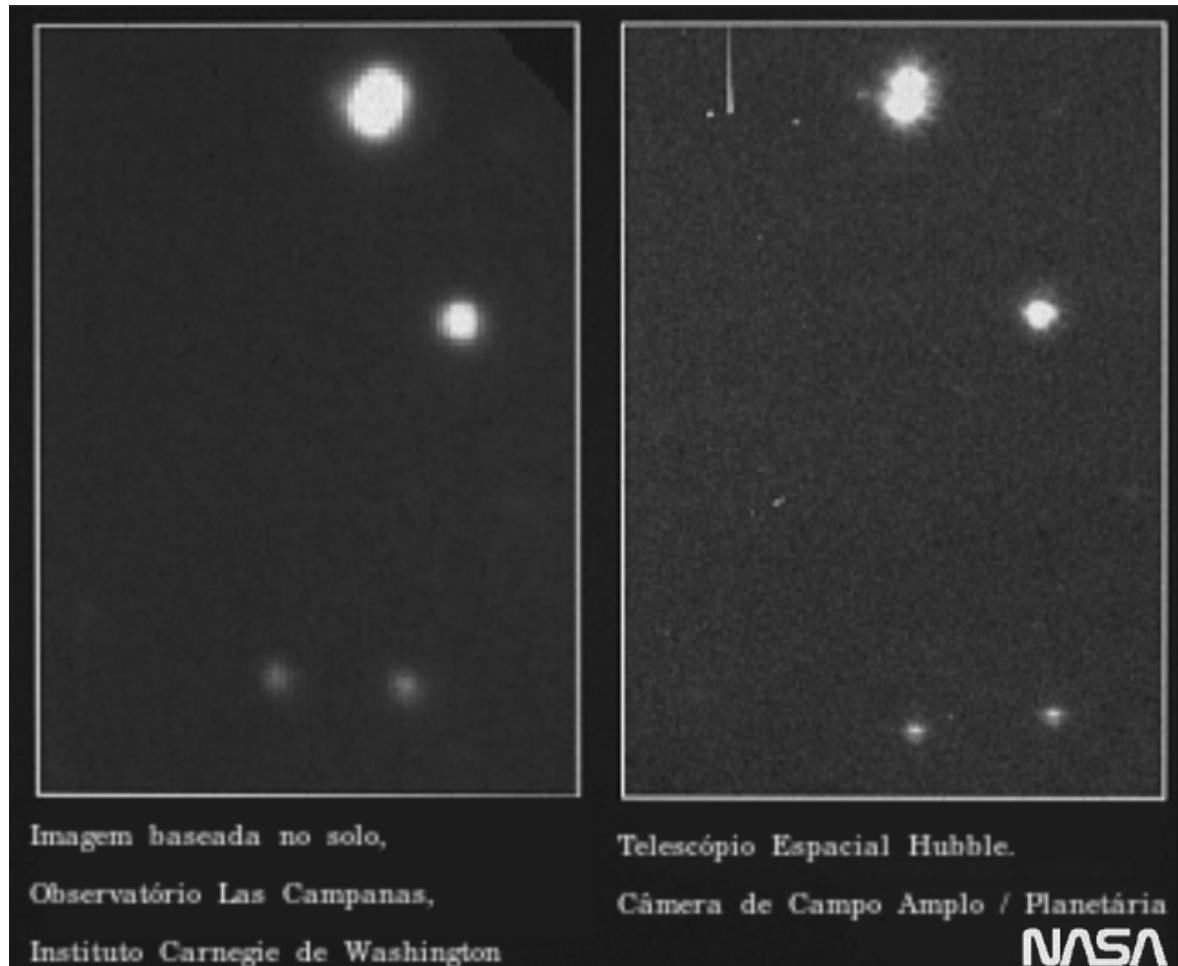


Figura 24 – Primeira Imagem de Hubble.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

A Figura 24 mostra uma estrela dupla separada em dois componentes. Cada componente está rodeado por um disco de gás e poeira, que mostrava os primeiros sinais de que havia complicações ópticas. O espelho primário do Hubble tinha um alinhamento incorreto na espessura de um fio de cabelo humano. Esse pequeno erro foi o suficiente para incapacitar o telescópio de 2 bilhões de dólares ([DUNBAR, 2023](#)).

Por ser um erro tão básico, todos os cientistas se reuniram para discutir sobre como consertá-lo e aprimorá-lo ainda mais para evitar que esses imprevistos se repitam. Por ser um espelho com uma forma e polimento impressionantes, mesmo a fórmula errada podia ser consertada. Então foram construídos instrumentos que usassem a fórmula incorreta, mas que gerassem boas imagens ([DUNBAR, 2023](#)).

Hubble recebeu dois conjuntos de espelhos, como mostra a Figura 25.



Figura 25 – Conjuntos de espelhos.

Fonte: ([WHALEM, 2020](#))

A esperança de Hubble está nesses espelhos. Em 2 de dezembro de 1993, estava sendo montado o cenário para a nova missão mais esperada de todos os tempos: o salvamento e conserto do telescópio espacial Hubble. A NASA (Administração Nacional Aeronáutica e Espacial) reuniu uma equipe de astronautas qualificados e bem equipados para essa missão, incluindo o astronauta e comandante Franklin Story Musgrave (1935 - com seus 88 anos atualmente). Mas naquela época, ele estava com seus 59 anos, e utilizaria suas habilidades como se fosse um cirurgião nas delicadas operações previstas. A missão foi de cinco caminhadas espaciais em cinco noites para consertar a delicada óptica do Hubble. Esse conserto foi feito à noite, para que o telescópio não sofresse com a luz direta do sol, já que a luz do sol poderia superaquecer o seu interior ([WHALEM, 2020](#)).

Mesmo sendo um trabalho complicado e difícil, foi bem-sucedido. Com o Hubble funcionando, os cientistas esperam pelas primeiras imagens do telescópio mostradas pela Figura 26.



Figura 26 – Antes e depois: Conserto do espelho de Hubble - Galáxia.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

A Figura 26 mostra a primeira imagem de uma galáxia antes e depois do conserto. A partir dessa imagem, o telescópio Espacial Hubble mostrou um universo gigantesco e continua em atividade até hoje.

3.2 Características

Hubble é o primeiro observatório espacial projetado especialmente para manutenção em órbita. Ele é um telescópio refletor. Ele é composto por:

- Espelho Primário.
- Espelho Secundário.

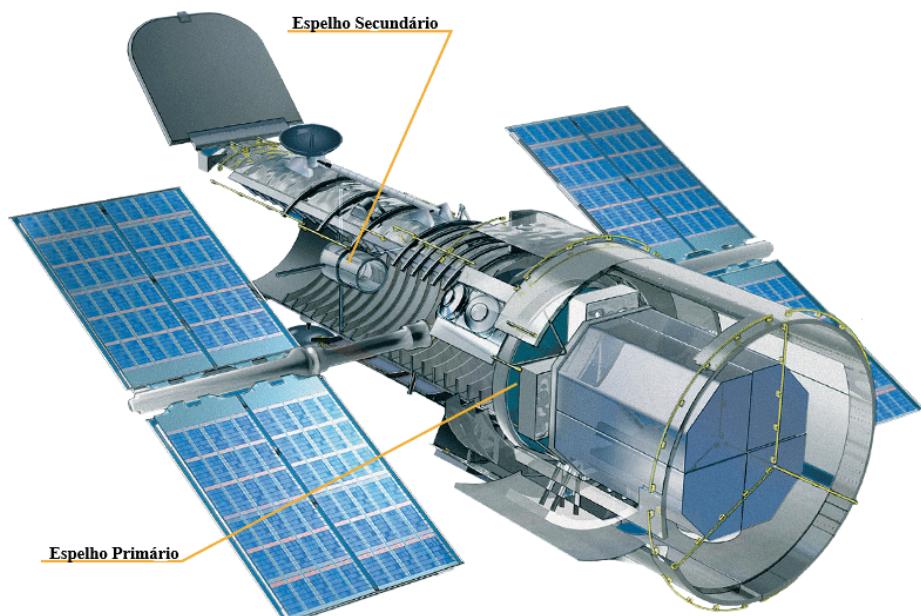


Figura 27 – Diagrama do Sistema Óptico do Hubble: Demonstrando espelhos primário e secundário.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Telescópio Espacial Hubble tem dois espelhos, primário e secundário. Espelho primário do Hubble é extremamente polido, com seus 2,4 metros de diâmetros e coleta uma imensa quantidade de luz, assim o Hubble pode detectar objetos que são 10 bilhões de vezes mais fracos do que o olho sem a ajuda de pode ver. Mesmo que o espelho primário seja grande, sua estrutura é bastante leve. Seu núcleo não é sólido e tem um interior de favo de mel, que faz sua massa ser reduzida, de 3.636 kg para 818 kg. O espelho secundário de Hubble tem apenas 30,2 centímetros de largura. Ambos os espelhos são feitos de um vidro de expansão ultra-baixa de alto silício desenvolvido pela companhia “Corning Glass Works” ([DUNBAR, 2023](#)).

Os espelhos seguem um projeto do Telescópio Cassegrain que coleta e foca a luz. A luz passa pelo comprimento do telescópio e atinge o espelho côncavo ou primário, assim a luz reflete do espelho primário e viaja de volta para a frente do telescópio. Lá ele atinge o espelho convexo ou secundário. O espelho secundário reflete a luz por meio de um buraco no espelho primário para formar uma imagem no plano focal do telescópio, a luz é então apontada para a ciência e instrumentos de orientação para análise. Como está sendo mostrado na Figura 28. Os espelhos do Hubble são curvados hiperbolicamente, isso mostra que ele tem uma curva mais profunda, essa variação é chamada de Richey-Chrétien, onde fornece as imagens mais nítidas sobre o campo de visão ([DUNBAR, 2023](#)).

Os espelhos de Hubble são forrados por camadas finas de alumínio e fluoreto de magnésio. Assim, a camada de flúor de magnésio é colocada em cima do alumínio para protegê-lo da oxidação, da mesma forma que aumenta a refletividade da luz ultravioleta ([DUNBAR, 2023](#)).

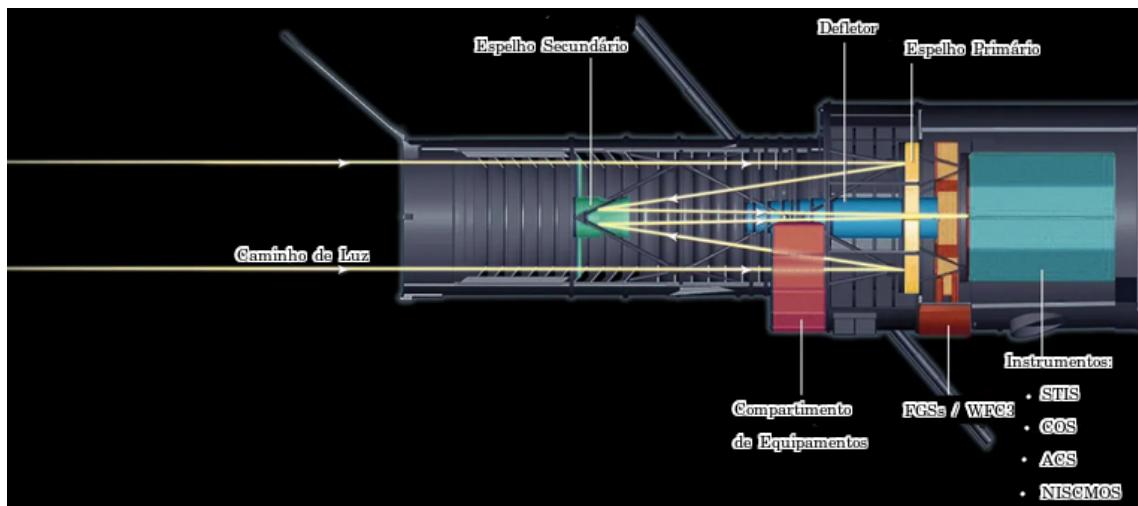


Figura 28 – Demonstração de passagem de luz do telescópio espacial Hubble.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Telescópio Espacial Hubble tem três tipos de instrumentos que exploram à luz do universo:

- Câmeras.
- Espectrógrafos.
- Interferômetros.

O Telescópio Espacial Hubble tem dois tipos de sistemas de câmeras primárias utilizadas para captar imagens do cosmo. Que são a Câmera avançada para pesquisas (ACS) e Câmera de campo amplo 3 (WFC3), esses dois tipos de sistemas trabalham em conjunto para proporcionar imagens de campo amplo de elevações em uma ampla

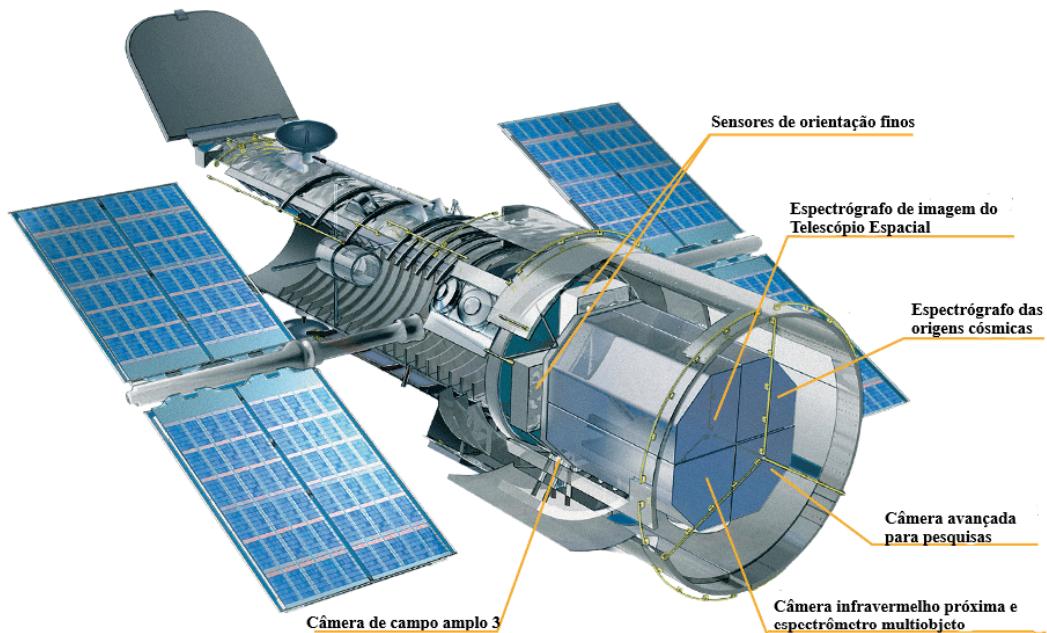


Figura 29 – Diagrama de Hubble: Demonstração de câmeras, espetrógrafos e interferômetros.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

gama de comprimentos de onda. O ACS foi programado principalmente para imagens de campo amplo com comprimentos de onda visíveis, apesar de também poder detectar a luz ultravioleta e infravermelho próximo ([DUNBAR, 2023](#)).

Ele também tem três tipos de câmeras chamadas de canais, que capturam vários tipos de imagens. O WFC3 proporciona imagens de campo amplo em luz ultravioleta, visível e infravermelho. Ele foi programado para acrescentar o ACS e expandir as capacidades de imagens totais de Hubble. Quando o ACS é usado principalmente para imagens de luz visível, já o WFC3 sonda mais fundo nos comprimentos de onda infravermelhos e ultravioletas, fornecendo uma ampla visão do cosmos ([DUNBAR, 2023](#)).

Especrógrafos são a ciência de quebrar a luz em suas partes associadas. Isso é semelhante à forma de como o prisma divide a luz branca em um arco-íris. Ele é utilizado para estudos por meio de todo tipo de objeto que absorve ou emite radiação. É assim que ele determina características como velocidade, densidade, temperatura e composição química. Vários especrógrafos são utilizados pelo Hubble, principalmente o Espectrógrafo de Origens Cósmicas (COS) e o Espectrógrafo de Imagens do Telescópio Espacial (STIS) ([DUNBAR, 2023](#)).

Tanto o COS quanto o STIS são instrumentos que geram aos cientistas dados espectrais detalhados para diversos objetos celestes. O STIS é um especrógrafo versátil que lida bem com objetos brilhantes. Já o COS determina níveis extremamente fracos de radiação UV que se originam de fontes cósmicas distantes, como corpos estelares em galáxias remotas, como demonstrado na Tabela 2 ([DUNBAR, 2023](#)).

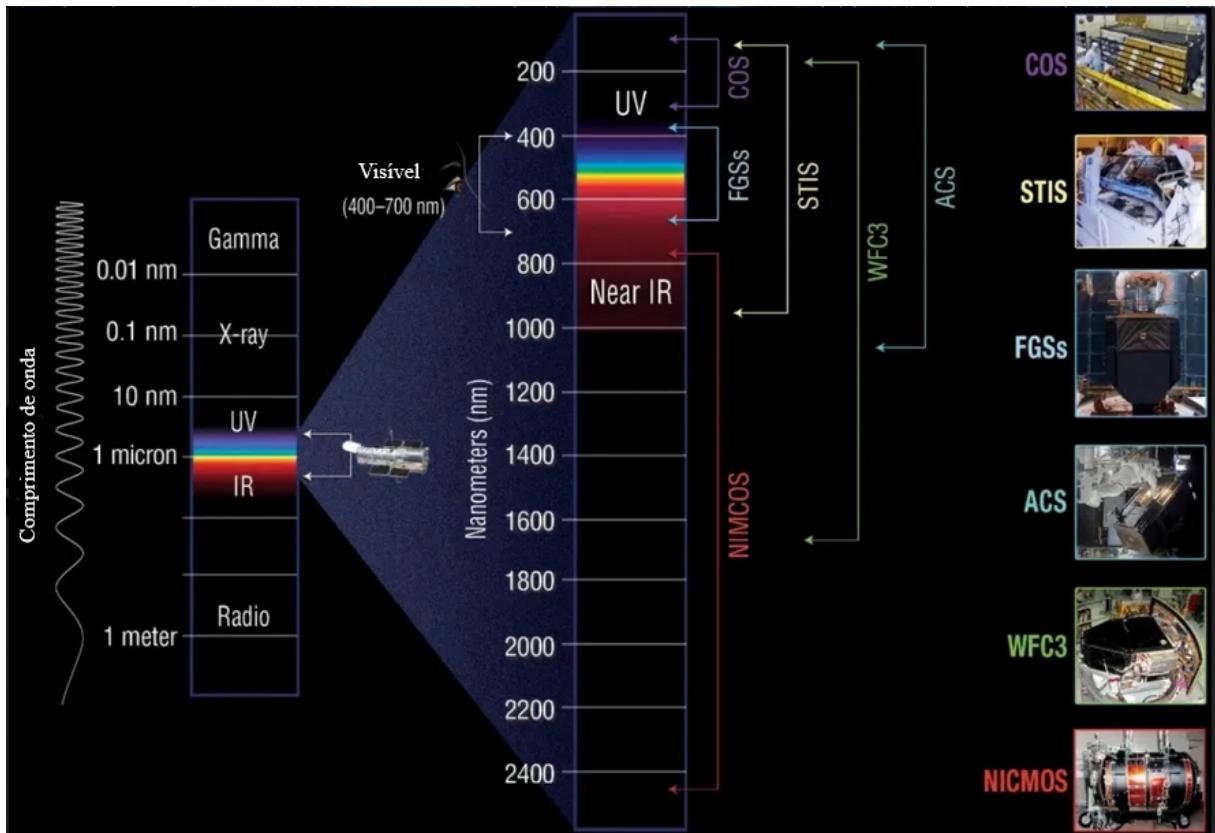


Tabela 1 – Os instrumentos científicos do Hubble analisam diferentes tipos de luz que vão desde ultravioleta(UV) até infravermelho(IR). Nessa tabela mostra quais comprimentos de onda cada instrumento estuda.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O WFC3 também tem a capacidade espectrográfica e é sempre utilizado no estudo de atmosferas de exoplanetas. Agora, a ACS, a câmera infravermelha próxima e o Espectrógrafo Multi-Objeto (que serve atualmente para backup) são compostos pelos recursos espetrógrafos. Esses espetrógrafos constituem como ferramentas espectroscópicas para estudos astrofísicos ([DUNBAR, 2023](#)).

Interferômetros do Hubble exercem um duplo objetivo: auxiliam o telescópio a manter uma finalidade constante e servem como um instrumento científico. Hubble tem três interferômetros a bordo dele que são chamados de Sensores de Orientação Finas (FGS). Como mostra na Figura 30 e na Figura 31 ([DUNBAR, 2023](#)).

Esses interferômetros medem as posições relativas e brilhos das estrelas. No momento em que o Hubble está apontando para um alvo, dois dos seus sensores de orientação fina são usados para prender o telescópio no alvo. Assim, o terceiro sensor é usado para coletar informações científicas sobre um alvo, como posições de estrelas que são dez vezes mais precisas do que as obtidas por telescópios terrestres ou diâmetro angular de um objeto celeste ([DUNBAR, 2023](#)).

Os Sensores de Orientação Finas são instrumentos bastante sensíveis. Eles procuram

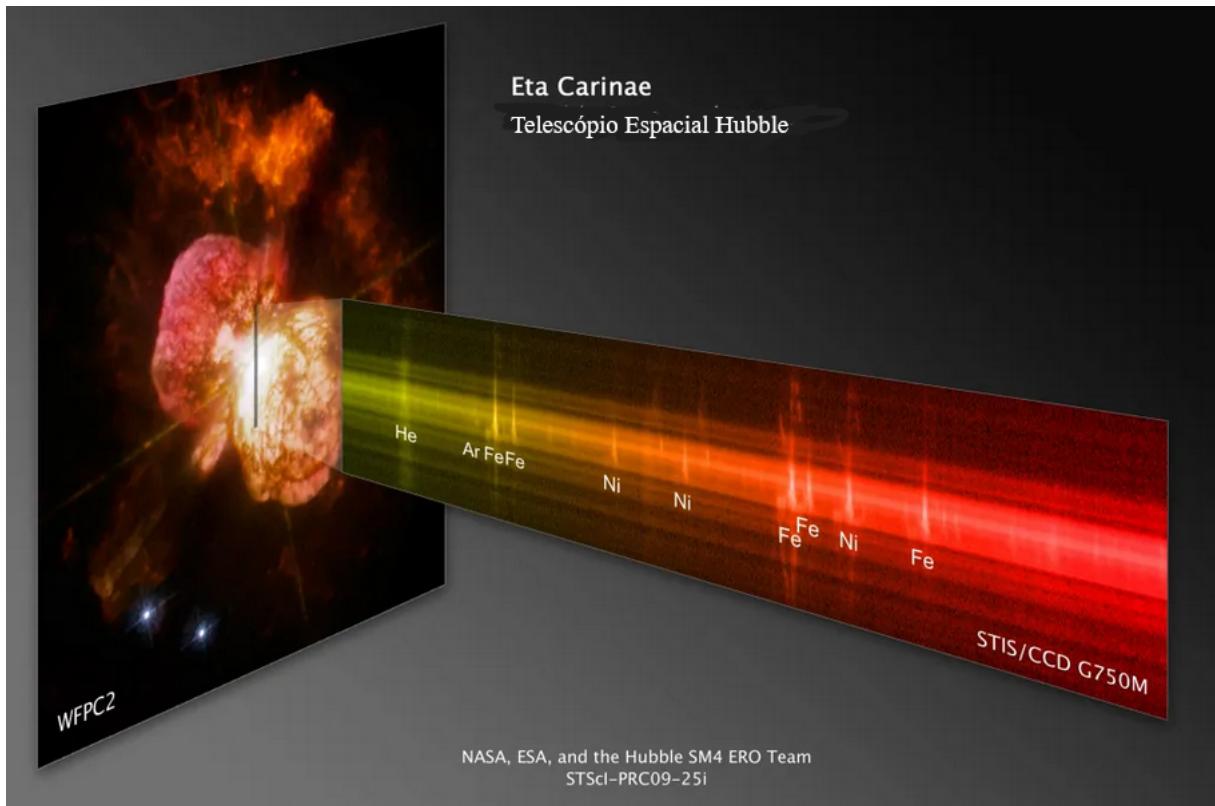


Tabela 2 – O Espectrógrafo de Imagens do Telescópio Espacial (STIS) do Hubble capturou um espectro (à direita) de material lançado por um par de estrelas massivas chamadas de Eta Carinae, sempre que a Câmara de Campo Amplo e a Câmera planetária 2 tirou, uma imagem das nuvens ondulantes de gás que envolvem o par estelar (à esquerda). Assim, o espectro mostra que um dos lóbulos contém os elementos de hélio(He), argônio(Ar), ferro(Fe) e o níquel(Ni).

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

fontes de luz pontuais estáveis, conhecidas como “estrelas guia”. Depois que acham uma fonte, eles a bloqueiam para manter o telescópio apontado de forma constante para essa fonte. Na hora que a luz no céu não é uma fonte de ponto, o Sensor de Orientação Fina não pode travar. Só assim o Sensor rejeita a estrela guia. Frequentemente, uma estrela guia só é rejeitada quando é uma galáxia distante ou um sistema de estrelas duplo, pois o Hubble foi lançado em 1990. Seus Sensores de Orientação Fina detectam centenas de sistemas de estrelas duplos que antes se achava que eram estrelas individuais ([DUNBAR, 2023](#)).

O Telescópio Espacial Hubble necessita de eletricidade para alimentar seus instrumentos científicos. Para isso, ele possui um conjunto de energia elétrica que gera, armazena, administra e distribui energia para toda a sua estrutura instrumental ([DUNBAR, 2023](#)). O conjunto de energia elétrica tem vários componentes que são:

- Painéis Solares.
- Unidade de Controles e Energia.



Figura 30 – O astronauta Joseph Tanner está com um dos Sensores de Orientação Fina do Hubble.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

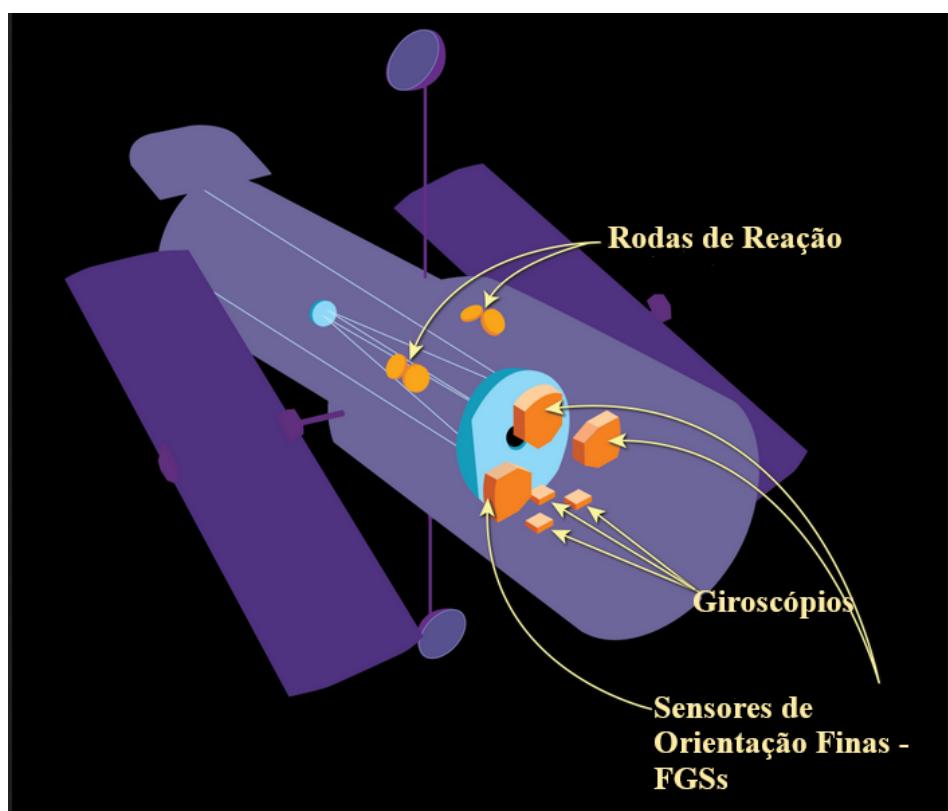


Figura 31 – Os três Sensores de Orientação Fina (FGS) que estão representados pelo Sistema de controle de apontamento do Hubble que também está incluído o Giroscópios e Rodas de Reação.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

- Unidade de Distribuição de Energia e seus Componentes Eletrônicos de Suporte.
- Baterias.
- Instituições de Operações Terrestres e Espacial.
- Antenas.
- Tipos de dados.

Os Painéis Solares são o que coletam a energia do Sol. Hubble teve três tipos de painéis solares desde o seu lançamento. Os seus atuais painéis foram instalados em 2002 durante a Missão de Serviço 3B. Cada painel mede 7,1 x 2,6 metros. Esse conjunto de painéis usa células solares de Arseneto de Gálio (GaAs) que são muito eficazes e também tem estruturas rígidas de Liga Alumínio-Lítio (AL-Li). Esses painéis são menores que os anteriores, mas eles têm vantagens que são a produção de 20% a mais de energia e eles também reduzem a quantidade de arrasto atmosférico que o telescópio encontra ([DUNBAR, 2023](#)).

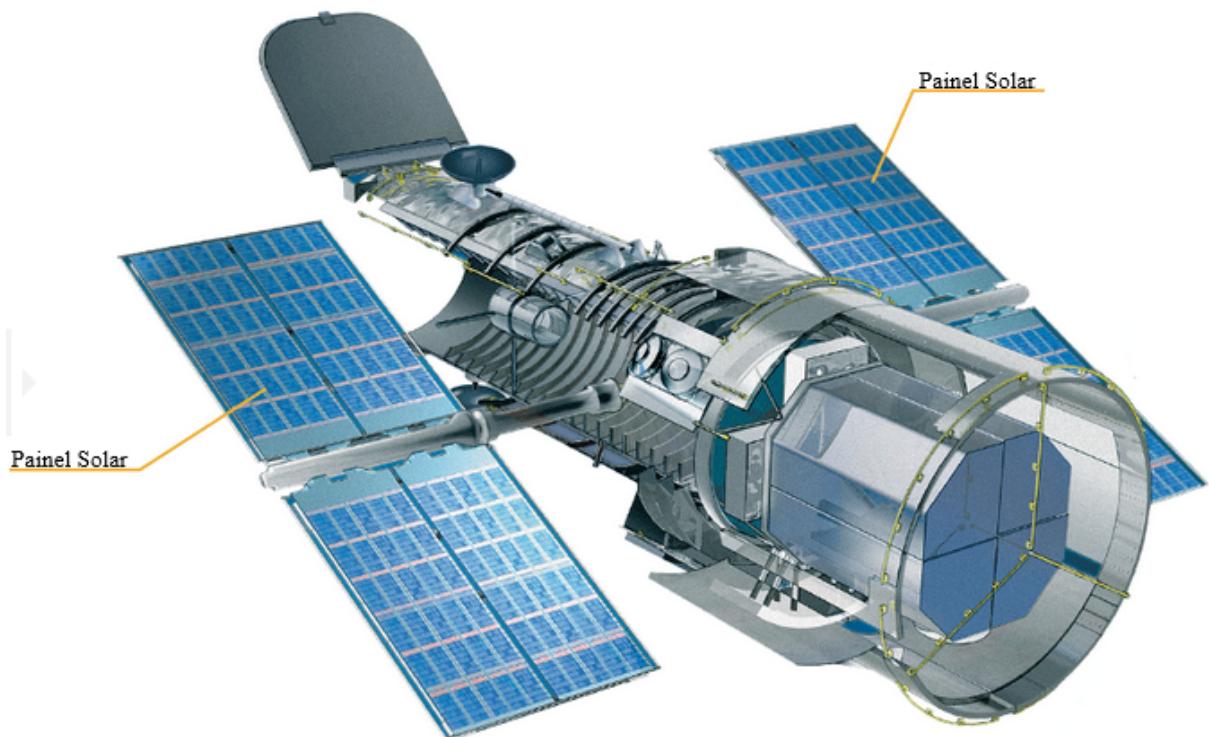


Figura 32 – Diagrama de Hubble: Demonstrando Painéis Solares.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Os painéis solares geram uma energia criada para gerenciar a Unidade de Controle de Energia (PCU). O PCU entrega energia para a espaçonave por meio de quatro Unidades

de Distribuição de Energia (PDUs) como mostra na Figura 33. As PDUs servem para ligar e desligar o equipamento e, além disso, contêm fusíveis que protegem os sistemas do Hubble contra o excesso de corrente se ocorrer um curto-circuito na espaçonave ([DUNBAR, 2023](#)).

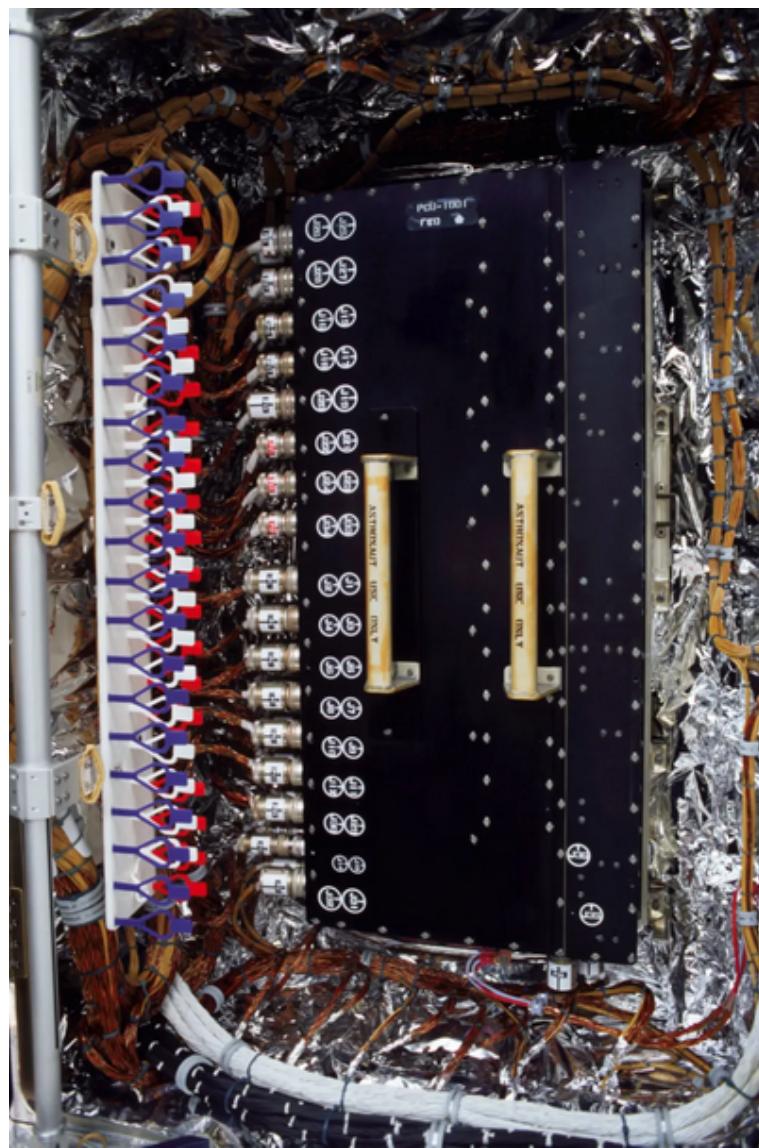


Figura 33 – PCU Hubble.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Quando obtém energia dos painéis solares, ela não é usada de imediato. Ela é armazenada em baterias, para que quando não há sol e sim a sombra da terra, ela tenha energia suficiente para se manter. Hubble é composto por seis baterias construídas com 22 células de níquel de hidrogênio (NiH₂). Essas baterias estão confinadas em dois compartimentos que abrangem três baterias cada. Hubble está com seu segundo conjunto de baterias instalado em 2009 pela Missão de Serviço 4 ([DUNBAR, 2023](#)).

Como demonstrado na Figura 34, as seis baterias juntam uma quantidade de energia referente a cerca de 20 baterias de carros. Elas geram 32 volts cada e estão conectadas

em paralelo. Sua capacidade nominal é de 88 horas de operação para cada bateria. O sistema totalmente carregado pode juntar 528 horas de operação e conter energia suficiente para sustentar o telescópio em modo normal de operação científica por 7,5 horas ou cinco órbitas ([DUNBAR, 2023](#)).

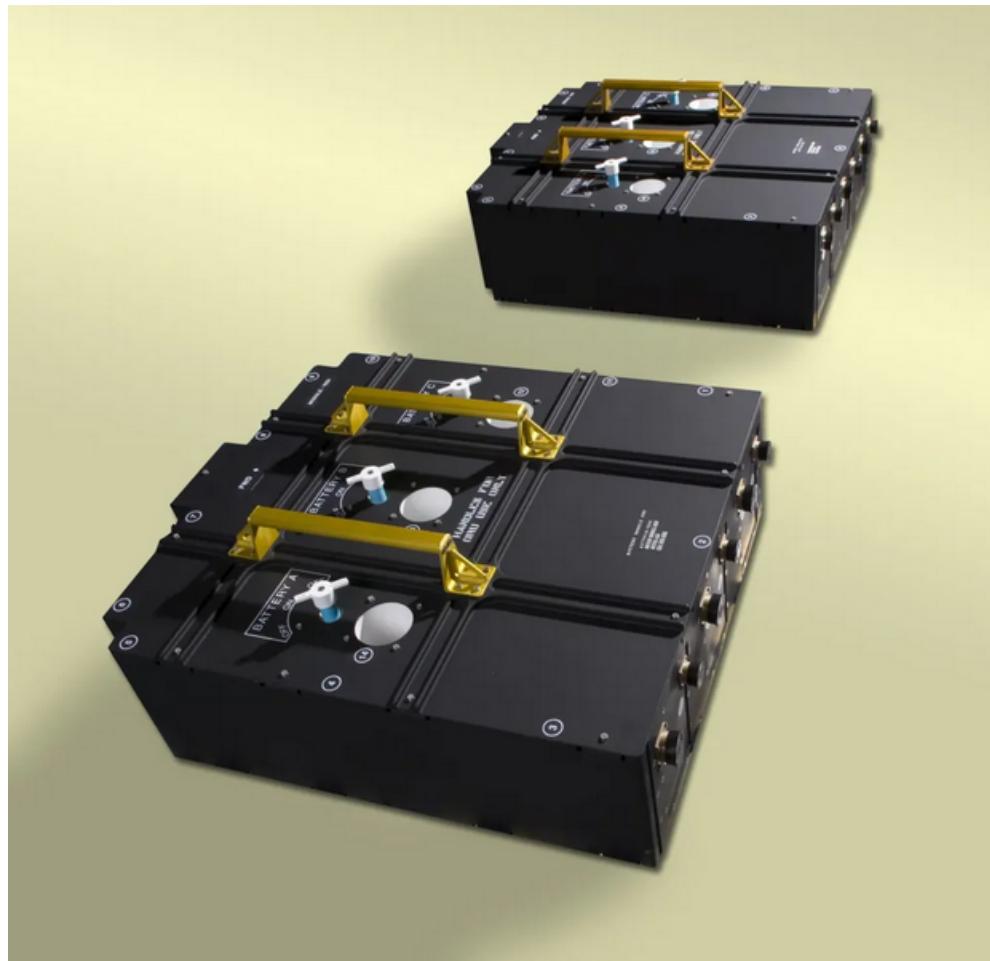


Figura 34 – Seis baterias de Hubble.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O sistema de energia elétrica do Centro de Voo Espaciais de Goddard da NASA é onde são monitorados constantemente a quantidade de corrente que entra e sai das baterias, em conjunto com sua temperatura e pressão durante ciclos de carregamento. Esses esforços manterão o Hubble alimentado para ele explorar o universo por bastante tempo possível ([DUNBAR, 2023](#)).

Antes do Telescópio Espacial Hubble receber quaisquer comandos que possam ser enviados a ele, esses alvos devem ser identificados e programados pelo Instituto de Ciências do Telescópio Espacial em Baltimore, Maryland. O Instituto deve primeiro ser identificado e assim programado por eles. Assim que obtém os comandos certos, eles são então enviados para o Centro de Operações do Telescópio Espacial (STOCC) no Centro de Voo Espaciais de Goddard da NASA em Greenbelt, Maryland, onde opera e comanda o Hubble ([DUNBAR, 2023](#)).



Figura 35 – Centro de Voo Espaciais de Goddard.



Figura 36 – Instituto de Ciências do Telescópio Espacial.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

A comunicação com Hubble vem através do STOCC que utiliza a Rede Espacial da NASA. Esta rede é uma constelação de satélites em órbita geossíncrona que se chamam Satélites de Rastreamento e Retransmissão de Dados (TDRS). O Hubble é comandado pela transmissão que vem do STOCC e é encaminhado por meio de antenas de rádio aplicadas no Complexo Terrestre das Areias Brancas, como demonstra na Figura 37 ([DUNBAR, 2023](#)).

A nave espacial TDRS recebe a transmissão e a retransmite para o Hubble. O TDRS serve como retransmissor para comandos e dados que vão e vêm do Hubble. Todas essas transmissões são feitas através da banda S, uma faixa específica de radiofrequência ([DUNBAR, 2023](#)).



Figura 37 – Complexo Terrestre das Areias Brancas.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Há dois tipos de antenas, chamadas de Antenas Acesso Múltiplo e Acesso Único, usadas para receber e enviar sinais. Seus nomes são referentes ao número de usuários que podem acessar uma antena a qualquer momento. Então, a Antena Acesso Múltiplo é para ser utilizada por vários usuários ao mesmo tempo, agora a Antena Acesso Único é restringida a um único usuário. Essas duas antenas contribuem para diferentes velocidades de transmissão de sinal, ou taxas de dados. A taxa de dados do Acesso Único é maior que a do Acesso Múltiplo ([DUNBAR, 2023](#)).

Hubble trabalha 24 horas por dia, em todos os dias do ano, coletando uma média de 18 gigabytes de dados científicos por semana. Consequentemente, as antenas de Acesso Único do TDRS que têm uma taxa de dados maior para transmitir grandes volumes de dados observados pelo Hubble de volta para a Terra ([DUNBAR, 2023](#)).

Hubble também tem dois tipos de antenas para receber e enviar sinais, chamadas de Antenas de Alto Ganho (HGAs) e Baixo Ganho (LGAs) ([DUNBAR, 2023](#)).

Como mostra na Figura 38, as LGAs são antenas pequenas, estacionárias e com formato de cone espiral. Elas podem receber e enviar sinais em todas as direções. Os comandos de Hubble são recebidos através destas antenas. Elas podem receber sinais de ambos os tipos de antenas TDRS. Assim, quando o TDRS manda um sinal da Terra para Hubble, este recebe um sinal por meio de um LGA que passa o sinal para o computador de bordo, que interpreta e executa os comandos que ele recebe ([DUNBAR, 2023](#)).

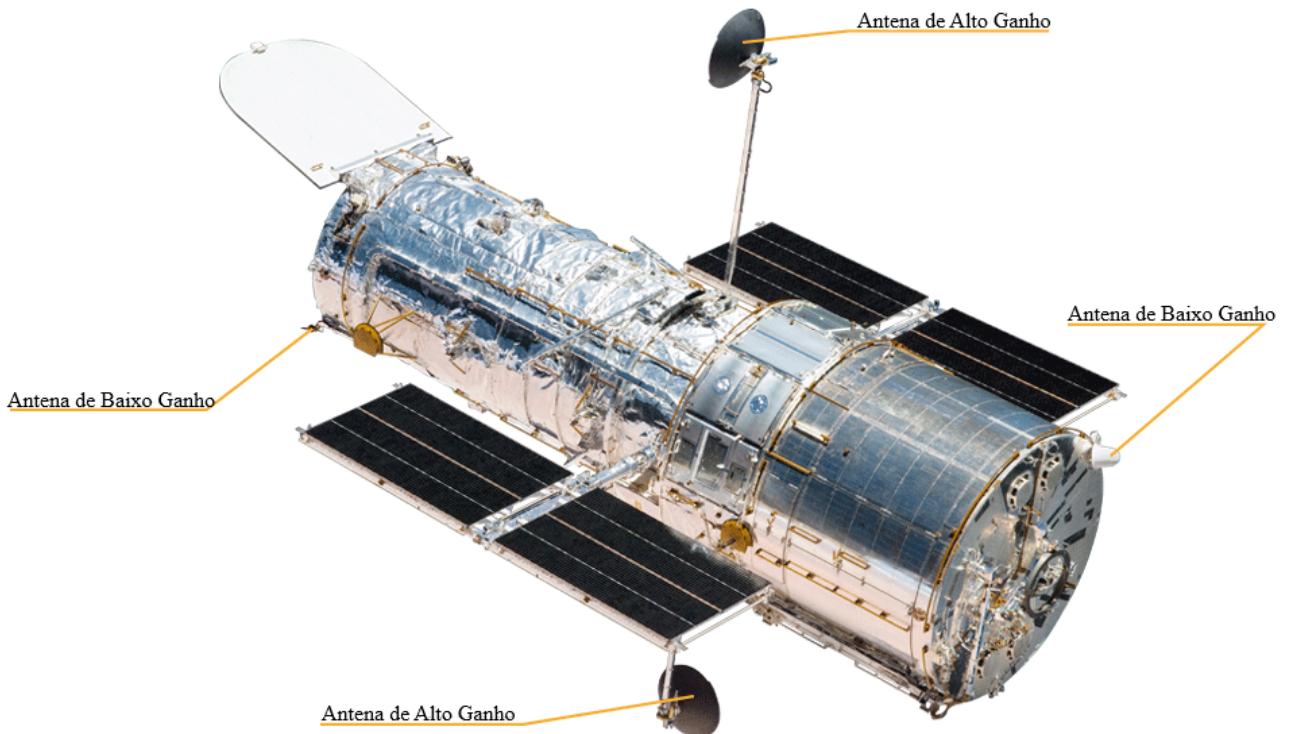


Figura 38 – Diagrama do Hubble: Demonstração das Antenas.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Agora os HGAs são反思adores parabólicos que têm formato de prato. As LGAs não podem fazer isso, por isso elas são usadas para transmitir excesso de dados, incluindo as imagens que o telescópio espacial coleta. Eles também podem transmitir para as antenas de acesso múltiplo e acesso único em TDRS. As HGAs são fechadas para transmissão de sinal ([DUNBAR, 2023](#)).

Além de deslumbrar o mundo com imagens magníficas do universo, o telescópio Hubble também é um poderoso instrumento científico que reproduz quatro tipos principais de dados:

1. Ciência em tempo real.
2. Engenharia em tempo real.
3. Ciência registrada.
4. Engenharia registrada.

Para reproduzir esses dados, Hubble utiliza dois tipos diferentes de transmissões para enviar os dados de volta à Terra: os Transmissores de Acesso Múltiplo (MATs) e os Transmissores de Acesso Único (SSATs) ([DUNBAR, 2023](#)).

O de Acesso Único transmite ciência em tempo real, ciência gravada e informações de engenharia gravadas a 1 Mbps. E os de Acesso Múltiplo têm dois canais, I e Q, que são

transmitidos ao mesmo tempo. O canal I-channel pode enviar ciência em tempo real e dados de memória em 4Kbps, enquanto o canal Q pode transmitir engenharia em tempo real em 4 ou 32 Kbps ([DUNBAR, 2023](#)).

Como também mostra na Figura 38, os HGAs em conjunto dão sinais de ambos os transmissores em uma saída, concentrada pela antena em um feixe estreito. As HGAs têm que ser capazes de apontar exatamente para uma nave espacial TDRS. Assim, o Hubble tem um Sistema de Apontador de Antena (APS) para fazer essa tarefa. O APS pode controlar os HGAs por toda a extensão dos dois eixos para que os HGAs consigam apontar exatamente para o satélite do alvo. Isso acontece quando o sistema é conectado ao computador de bordo ([DUNBAR, 2023](#)).

Portanto, a Rede Espacial recebe dados do Hubble. Ela encaminha esses dados para o Complexo de Areias Brancas, que a partir daí envia a informação para o STOCC, que realiza verificações de qualidade. Assim, os dados científicos são encaminhados para a STScI, que é onde são processados, arquivados e distribuídos para todos os cientistas e ao público ([DUNBAR, 2023](#)).

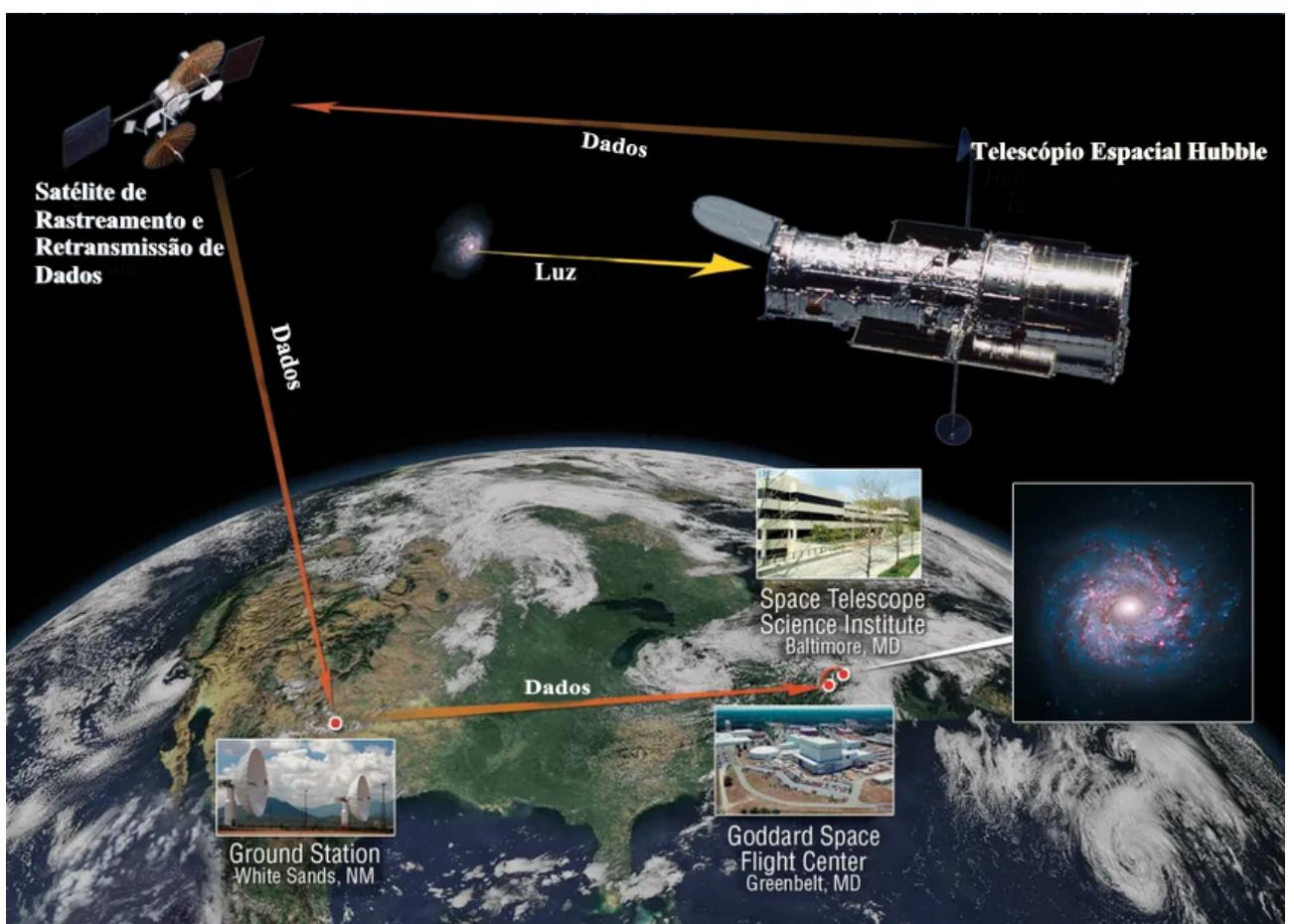


Tabela 3 – Diagrama da passagem de dados do Hubble.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

3.3 Descobertas

O Telescópio Espacial Hubble fez mais de 1,5 milhões de observações desde seu lançamento em 1990 ([DUNBAR, 2023](#)).

Hubble mostrou uma compreensão do universo que ninguém conseguia imaginar. Foi um grande choque para o mundo naquela época. Quanto mais ele observava, mais dados chegavam e mais descobertas eram feitas. Ele começou tudo. Todas as suas descobertas foram extraordinárias. Mostrarei algumas que foram muito importantes para a ciência.

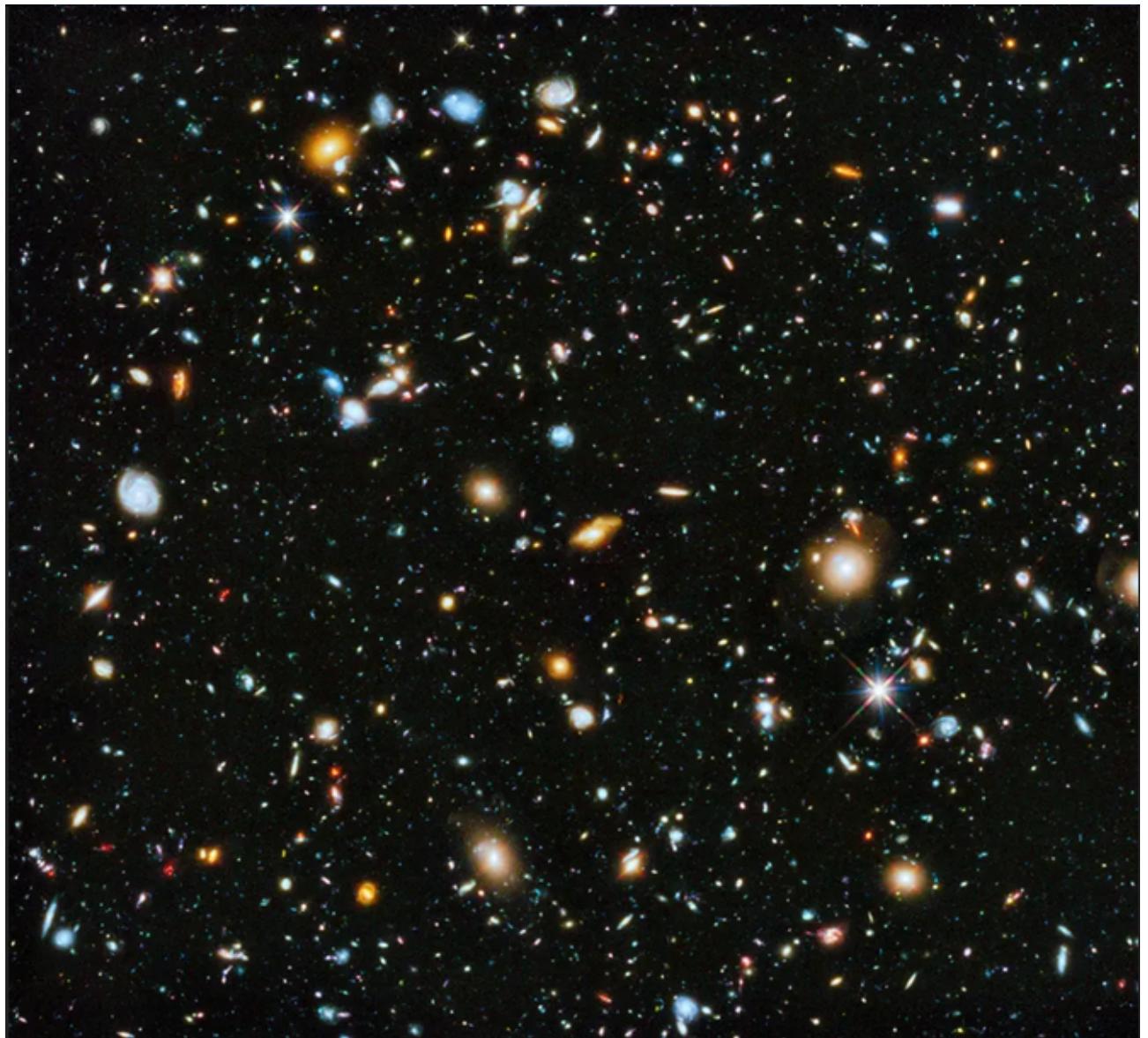


Figura 39 – Campo Ultra Profundo de Hubble, uma exposição de um milhão de segundos que descobre as primeiras galáxias a surgir do campo do universo chamado de “idades escuras”. Como descreve Massimo Stiavelli, ele diz que ‘O Hubble nos leva a um lance de pedra do próprio Big Bang’.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

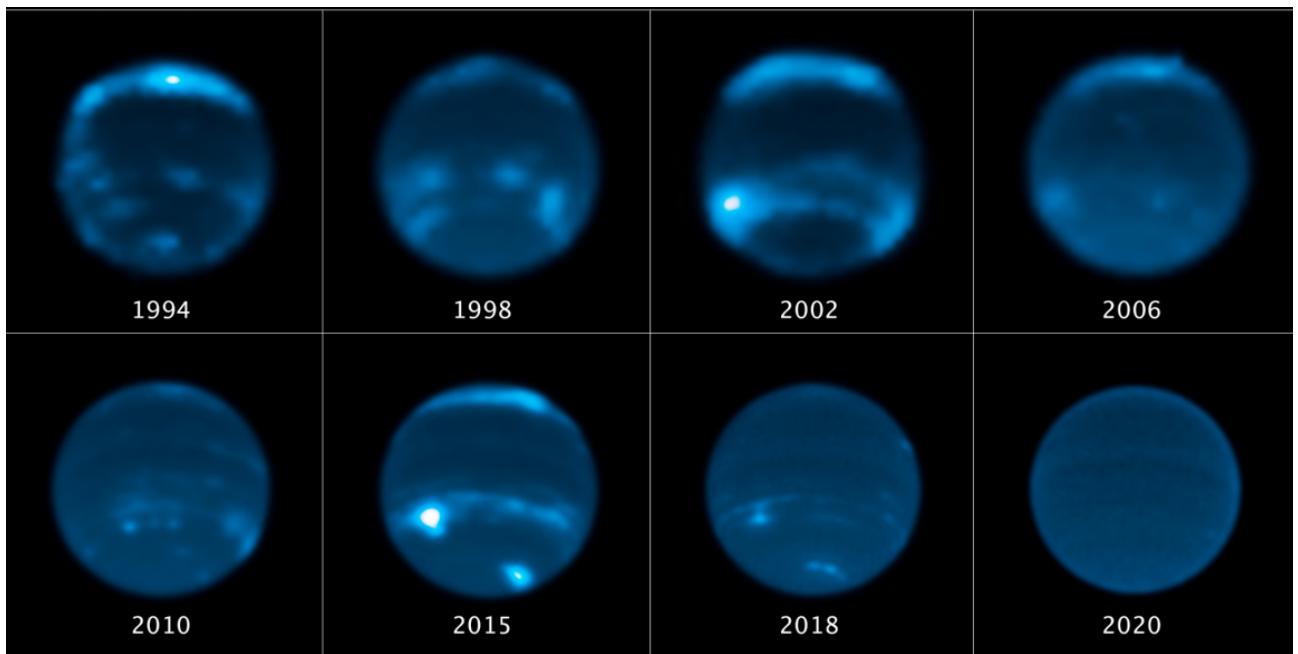


Tabela 4 – Nuvens de Netuno e o Ciclo Solar: Segmento de imagens do Telescópio Espacial Hubble que mostra a ligação entre a mudança do excesso de nuvens de Netuno e o Ciclo Solar de 11 anos. Neste ciclo, o aumento e a diminuição dos campos magnéticos entrelaçados do Sol geram atividade solar. Este extenso conjunto de observações de Netuno mostra que o número de nuvens aumenta gradativamente ao longo de anos após um pico no ciclo solar. A atividade do nível do Sol cresce claramente e desce no decorrer de um período de 11 anos.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

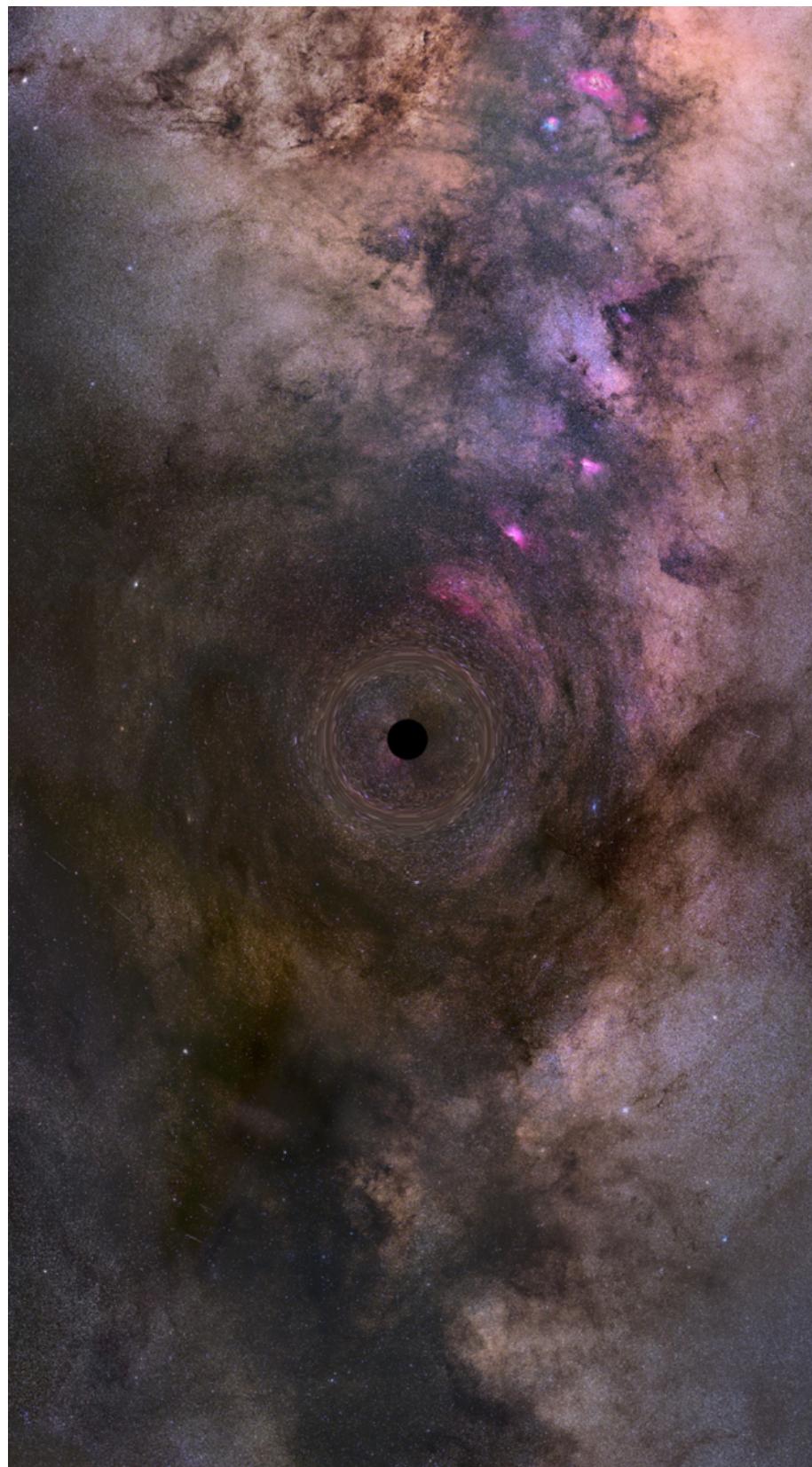


Figura 40 – Buraco Negro: Durante 6 anos de observações, pela primeira vez, o Telescópio Espacial Hubble proporcionou indícios de um buraco negro solitário à deriva através do espaço por uma medição precisa da massa desse objeto. O buraco negro recentemente detectado pelo Hubble está a cerca de 5.000 anos-luz de distância no braço espiral de Carina-Sagitário de nossa galáxia.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 41 – Pilares da Criação: Três gigantes colunas de gás frio, banhadas pela luz ultravioleta escaldante de um aglomerado de estrelas maciças e jovens, em uma pequena extensão da Nebulosa Águia, cientificamente chamada M16.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 42 – Nebulosa Carina: São torres de gás de hidrogênio ligadas com poeira e são vistas subindo ao longo da parede da nebulosa. Em seu topo há uma nuvem de gás e poeira com cerca de três anos-luz, que está sendo devorado pela luz intensa e pelos ventos das estrelas próximas. As estrelas formam grandes nuvens de gás e poeira. Os comprimentos de onda mais longos da luz infravermelha conseguem passar pela nuvem sem serem muito afetados. A Câmera Infravermelha Próxima do Hubble possui a capacidade e a alta resolução necessárias para realizar importantes estudos sobre como as estrelas se formam. Essa nebulosa também é conhecida como “Montanha Mística”.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

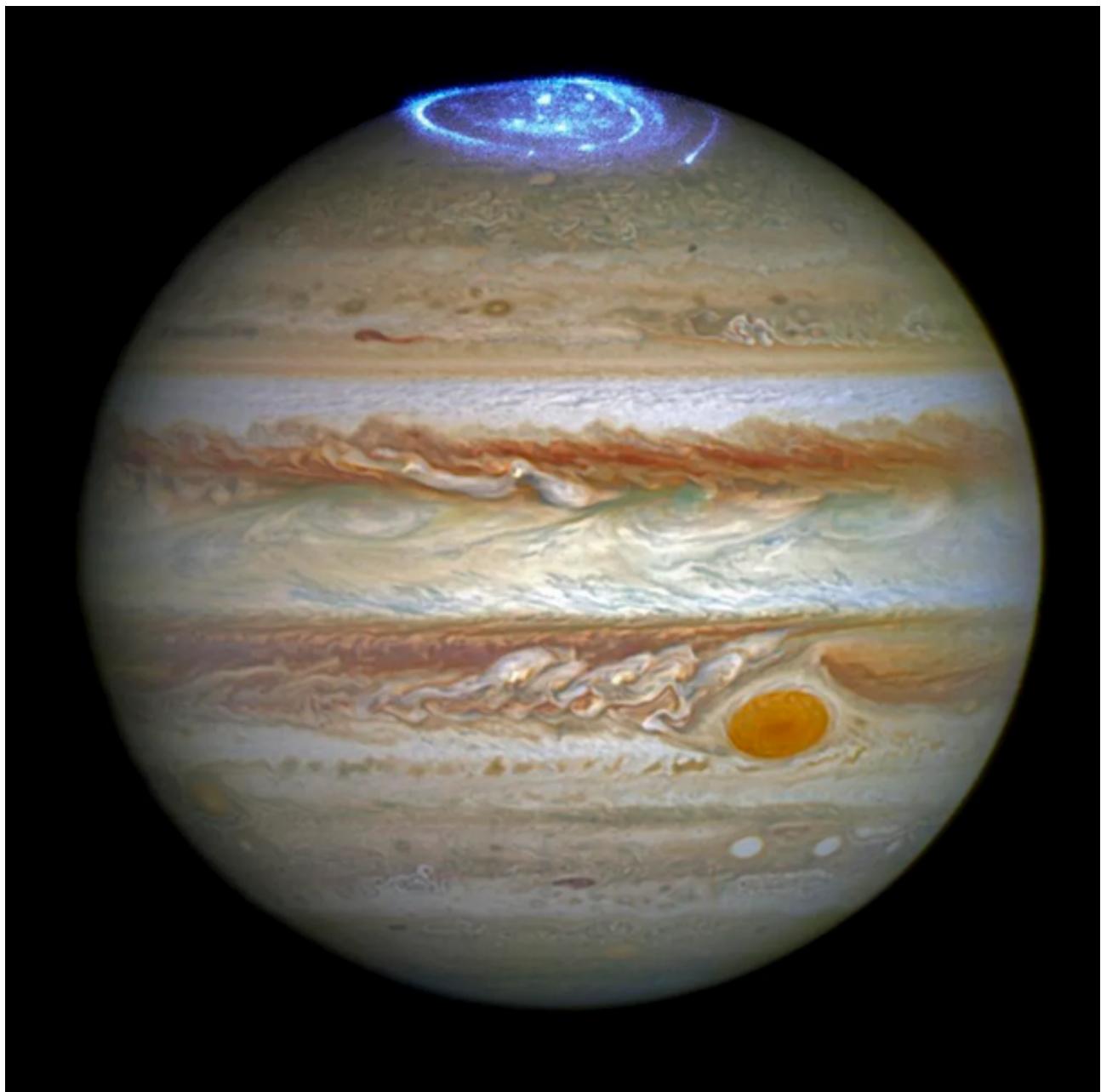


Figura 43 – Aurora Boreal na atmosfera de Júpiter: Durante uma série de observações feitas com luz ultravioleta pelo Telescópio Espacial Hubble, um grande espetáculo de luzes impressionantes foi registrado na atmosfera do planeta. Essas luzes são brilhos vívidos, conhecidos como auroras, criados quando partículas de alta energia entram na atmosfera de um planeta próximo aos polos magnéticos, colidindo com átomos de gás e produzindo uma bela vista.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

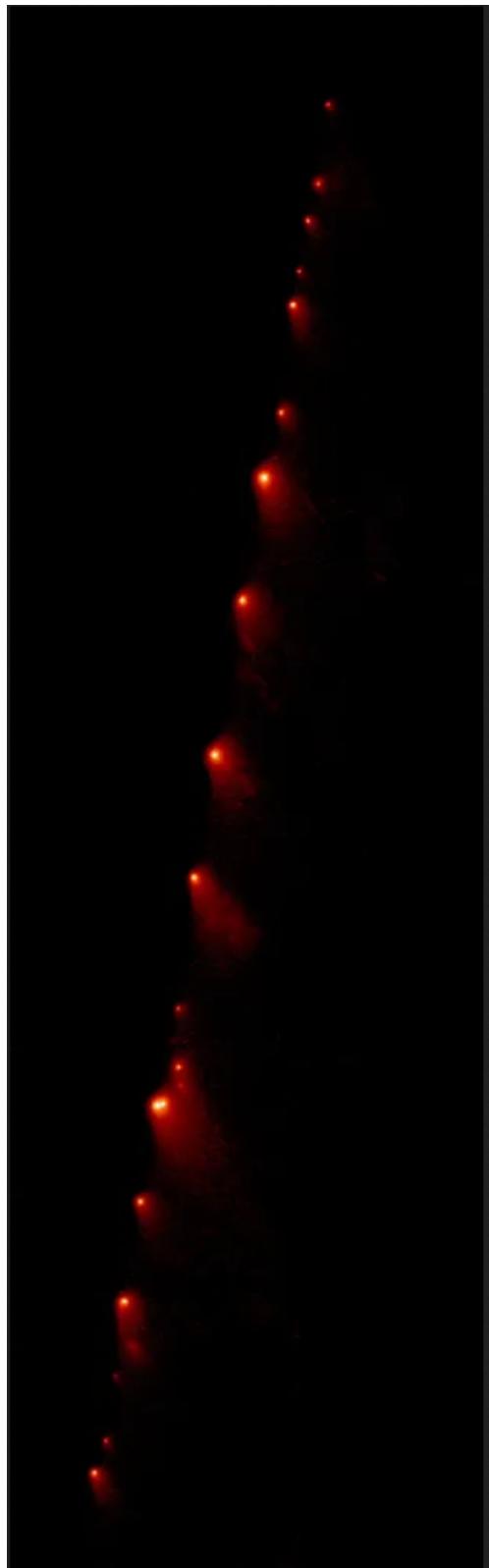


Figura 44 – Cometa Shoemaker-Levy 9: O cometa foi descoberto pelos astrônomos Carolyn Shoemaker, Eugene M. Shoemaker e David H. Levy em 1993, sendo o primeiro cometa a orbitar um planeta, neste caso, Júpiter. Devido a isso, as forças de maré de Júpiter já haviam despedaçado o corpo celeste. Portanto, os 21 fragmentos do cometa estão em rota de colisão com Júpiter.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

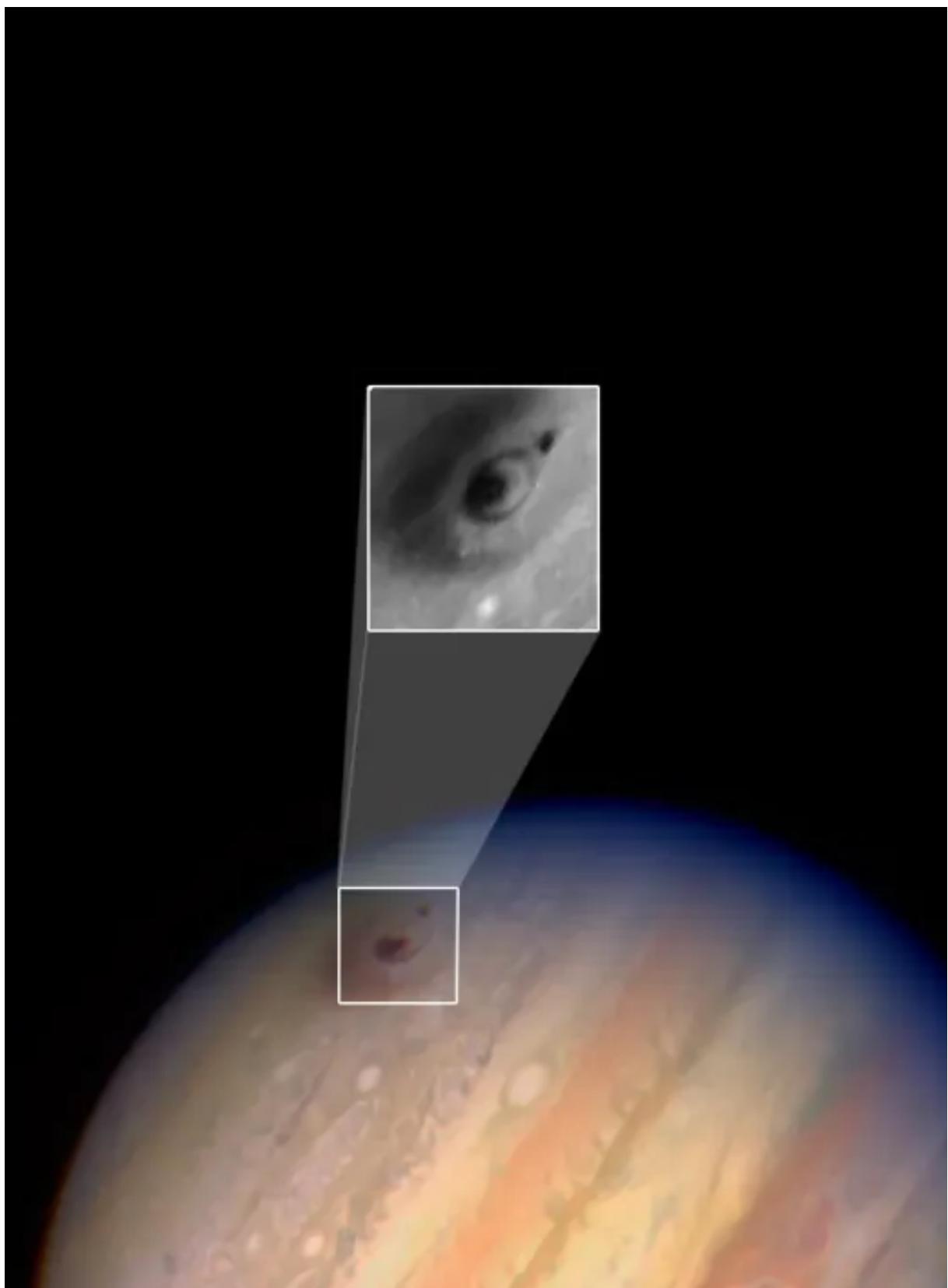


Figura 45 – Impacto do Cometa Shoemaker-Levy 9: Telescópio Espacial Hubble mostra o grande impacto onde um dos fragmentos do cometa colidiu com Júpiter.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

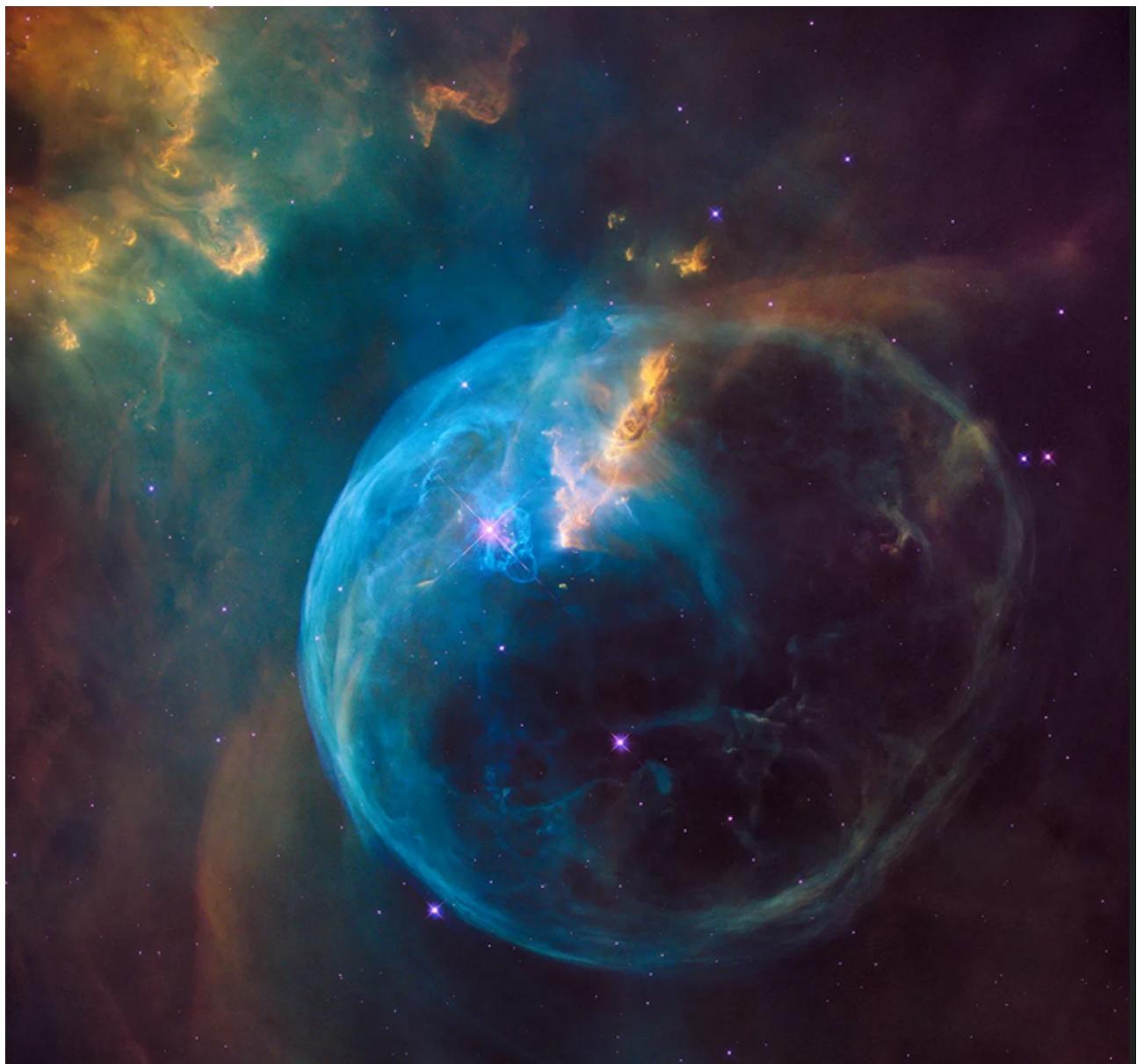


Figura 46 – Interação dinâmica e impressionante de uma jovem estrela com seu ambiente. A Nebulosa da Bolha, com 7 anos-luz de diâmetro, está localizada a 7.100 anos-luz da Terra, na constelação de Cassiopeia. O Telescópio Espacial Hubble mostra uma enorme bolha que lembra uma bolha de sabão sendo soprado para o espaço por uma estrela extremamente quente e maciça.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

4 James Webb

4.1 História

Alguns anos depois que o Telescópio Espacial Hubble foi lançado, muitos cientistas começaram a pensar em um novo projeto. Em 1996, a missão do Telescópio Espacial James Webb começou a ser planejada e construída ([GAL, 2023](#)). Mas, antes de mostrar tudo sobre esse espetacular telescópio, vamos voltar um pouco para o passado, para dizer o porquê o Telescópio Espacial James Webb recebeu esse nome.

James Edwin Webb (1906-1992) foi militar, servidor público e político. Ele foi o segundo Administrador da NASA, que foi estabelecida em 1 de outubro de 1958, sobre a Lei Nacional de Aeronáutica e Espaço. Em 14 de fevereiro de 1961, aceitou o cargo de administrador da NASA. Neste cargo, ele realizou um dos projetos mais importantes da história: o projeto Apollo, cujo objetivo era pousar um humano na Lua ([DUNBAR, 2023](#)).

Durante 7 anos, após uma declaração do desembarque lunar do presidente Kennedy em maio de 1961, até outubro de 1968, James Webb politiquou, persuadiu e manobrou a NASA em Washington. Assim, por meio de vários métodos, o administrador Webb construiu uma rede de ligações políticas que lhe garantiam um apoio contínuo e que lhe proporcionavam os recursos para realizar o pouso da Apollo na Lua. Isso estava em um cronograma que o presidente Kennedy havia anunciado. Logo, James Webb estava na liderança da NASA quando a tragédia atingiu o programa Apollo. Em janeiro de 1967, a Apollo-Saturn AS 204 estava na plataforma de lançamento no Centro Espacial Kennedy, na Flórida, e estava em testes de simulação quando houve um incêndio que matou três astronautas que estavam a bordo. Esse acidente fez com que todos da NASA ficassem desolados. Nessa época, James Webb disse à imprensa que “Nós sempre soubemos que algo assim aconteceria mais cedo ou mais tarde.” Assim, por causa desse acontecimento, Webb foi até o presidente Lyndon Johnson (1908-1973) e pediu que a NASA fosse autorizada a lidar com as consequências e liderar a investigação dos acidentes. Com isso, ele prometeu ser sincero na avaliação das responsabilidades e assumir o papel que lhe cabia e à administração da NASA, conforme fosse necessário. Após isso, os detalhes da tragédia foram analisados e descobertos, e com isso, corrigindo os erros, retomaram o cronograma. James Webb ajudou e administrou muito bem a NASA, mas sua gestão ficou marcada por esse desastre. Ele estava se esforçando para que a agência espacial obtivesse o apoio popular, que, em sua maioria, se manteve intacto. Ele deixou a NASA em outubro de 1968, logo após o Projeto Apollo se aproximar de uma conclusão bem-sucedida ([DUNBAR, 2023](#)).

É através deste porta-voz da NASA que a administrou com tudo que tinha. Por

ser uma pessoa admirável, foi este nome que foi escolhido para nomear um dos grandes projetos da NASA, o Telescópio Espacial James Webb.

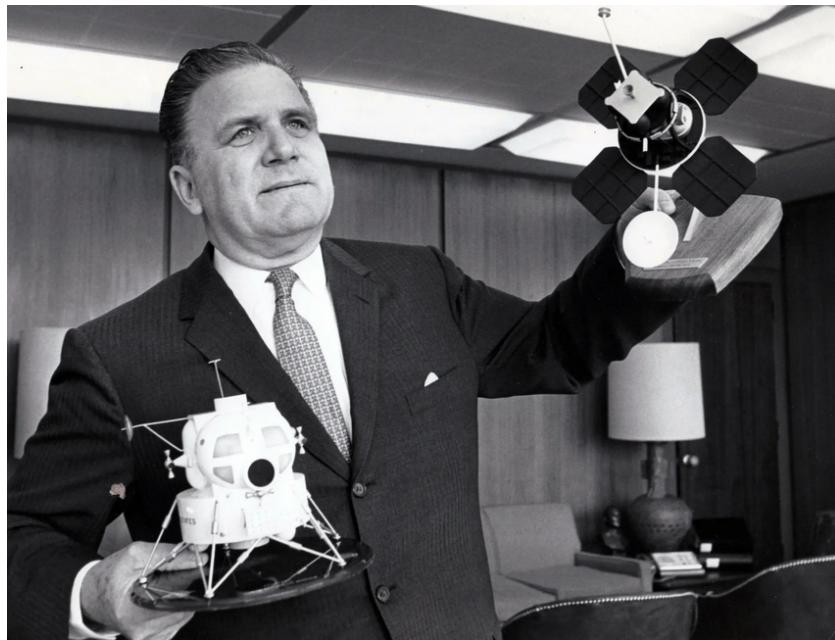


Figura 47 – James Edwin Webb: Administrador da NASA.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Agora, sim, podemos começar a descrever o projeto do Telescópio Espacial James Webb. Esse projeto teve muito contratemplos, crises orçamentárias e até ameaças de cancelamento do projeto pelo Congresso, o lançamento do Telescópio Espacial James Webb era um grande risco para a NASA, porque se desse errado, além de perder anos de projeto, perderia muito dinheiro. Mesmo assim, ninguém desistiu de fazer o seu lançamento. Muitos cientistas dedicaram suas carreiras, suas vidas nesse projeto. James Webb não é um simples telescópio, ele é um avanço de qualquer missão já feita, está em uma escala de grande magnitude, de melhorias e de todas as dimensões. Ele é o que chamamos de pai de todos os telescópios. Depois de tanto tempo construindo, finalmente chegou o dia de lançamento do telescópio espacial James Webb. Na manhã do dia 25 de dezembro de 2021, foi o acontecimento mais emocionante e marcante na história da astronomia. Dezenas de cientistas do mundo todo assistiram ao lançamento, e muitas pessoas se comunicavam pelas redes sociais no dia do lançamento, todos torcendo para ser um grande sucesso ([WHALEM, 2020](#)).

James Webb é o sucessor de Hubble, sendo três vezes maior e com muitas mais tecnologias. Um grande presente de Natal para todos os cientistas que trabalharam arduamente nele, com a esperança de que tudo desse certo, sem nenhum erro. Assim, a preparação de todos os cientistas no Centro de Controle Júpiter de Kourou, em Guiana Francesa, estava com as imagens ao vivo do Ariane 5 na plataforma de lançamento para enviar o Telescópio Espacial James Webb para a fase inicial de sua jornada ([WHALEM, 2020](#)).

Enfim, começa a contagem regressiva do lançamento. Dez, nove, oito, sete, seis, cinco, quatro, três, dois, um... e se deu início à combustão dos propelentes de forma perfeita e sincronizada, como o esperado, e em questão de momentos foi lançado o Telescópio Espacial James Webb rumo ao espaço.



Figura 48 – Lançamento do Ariane 5: Telescópio Espacial James Webb
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Após o lançamento, houve uma comemoração em cada momento que James Webb foi se abrindo, pois até sair da atmosfera da Terra não houve nenhum problema. Assim começam os procedimentos de separação do telescópio com a Ariane 5, que, por final, foi bem-sucedido. James Webb está indo para seu local de trabalho, onde ele orbita o ponto Sol-Terra, que fica a 1,5 milhão de quilômetros além da órbita da Terra ao redor do Sol, o chamado ponto de Lagrange ou L2, falaremos mais sobre isso na **Seção 5.2** ([DUNBAR, 2023](#)). Um telescópio em órbita, todos os seus principais operadores foram acionados,

com isso todos estavam ansiosos com as suas primeiras imagens. Seis meses depois de seu lançamento, o Telescópio Espacial James Webb estava pronto para ser revelado através de suas observações, suas primeiras imagens iriam ser mostradas para o mundo. A primeira imagem foi divulgada no dia 11 de julho de 2022, o administrador da NASA, Bill Nelson, mostrou para o presidente e para o mundo a imagem, “o campo profundo do James Webb” com cerca de 13,1 bilhões de anos ([WHALEM, 2020](#)).

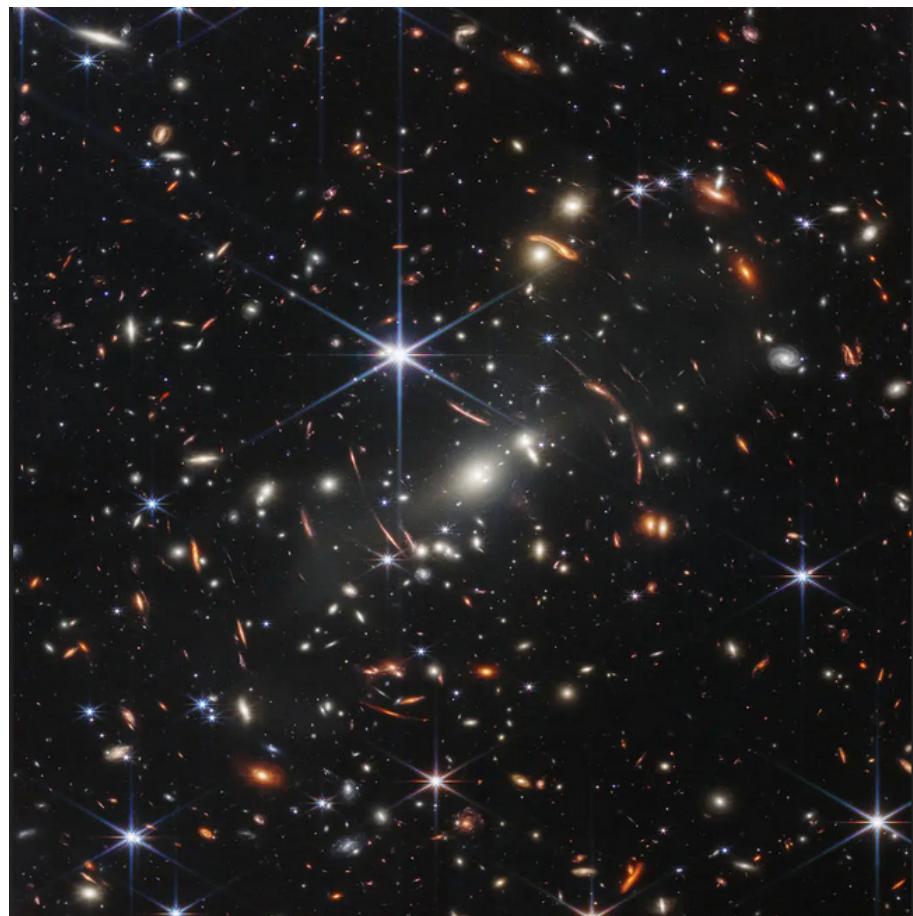


Figura 49 – Campo Profundo de James Webb: Nossa origem, origem de todas as galáxias e estrelas do universo.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

4.2 Características

James Webb é um telescópio espacial avançado com o propósito de captar a radiação infravermelha. Ele é um telescópio refletor e é formado pelo observatório, que é a parte do seu sistema, composto por:

Elemento de Telescópio Óptico (OTE):

- Espelhos.
- Painel Traseiro.

O elemento de telescópio óptico(OTE) é considerado o olho do observatório, onde compõem os espelhos e o painel traseiro. É um telescópio espacial que chamamos de “próxima geração”. Quanto maior o espelho, mais luz captamos. Então, para ver a primeira luz, precisamos de espelhos grandes. O espelho primário, é um espelho côncavo com seu diâmetro de 6,5 metros. Um espelho como este é a primeira vez que é lançado um com esse diâmetro gigantesco no espaço. É um espelho magnífico. Sua captação de luz é ampla e alcança as galáxias mais distantes, cerca de 13 bilhões de anos-luz de distância de nós. Para entender um pouco, a delicadeza de um telescópio reside na possibilidade de se observar um detalhe em uma distância generosa. Quanto maior o diâmetro do espelho, mais luz ele capta e, consequentemente, maior a distância que ele consegue alcançar. Ele é um espelho multifacetado e contém segmentos de berílio (Be). Esse elemento é leve e resistente, o que facilita o transporte. Cada um dos segmentos tem massa de 20 quilos ([DUNBAR, 2023](#)).

Além disso, a estrutura dos segmentos do espelho é dobrável. Quando o telescópio foi lançado ao espaço, ele estava dobrado e se abriu totalmente ao ser posicionado em seu local. James Webb contém 18 segmentos de espelhos que têm o formato hexagonal. Eles têm 1,32 metros de diâmetro, plano a plano. Por que escolheram um espelho hexagonal? Porque essa forma possibilita um segmento de espelho se aproximar circularmente com uma “simetria de seis vezes” e ter um “alto fator de enchimento”. A simetria de seis vezes é importante porque só são necessárias 3 prescrições ópticas diferentes para cada um dos 18 segmentos, assim como para 6 de cada. Agora, o alto fator de enchimento significa que os segmentos se encaixam sem conter lacunas ([DUNBAR, 2023](#)).

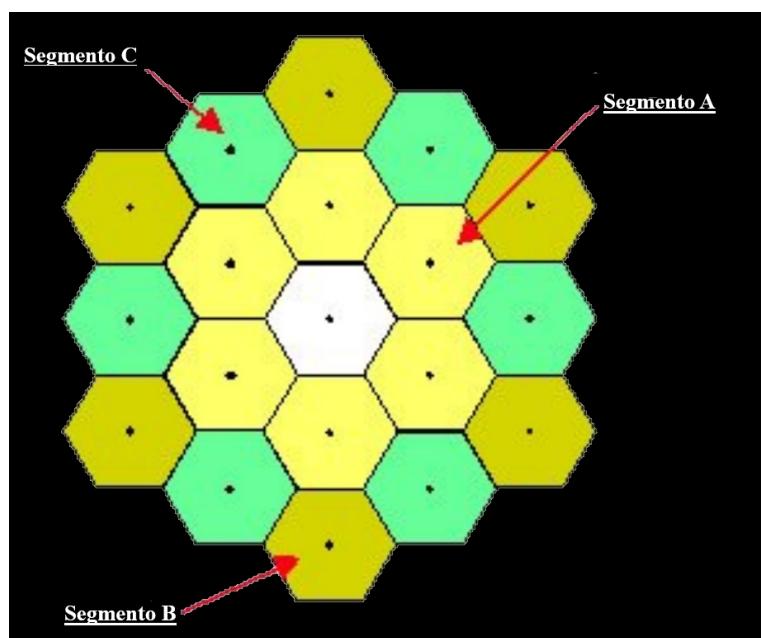


Tabela 5 – Os segmentos A, B e C têm uma cor para cada segmento, o que mostra que cada um tem prescrições diferentes para o telescópio.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O espelho secundário é convexo, e bem menor que o primário, o diâmetro dele é 0,74 metros, seu formato é circular, ele está localizado no final dos longos braços do telescópio, que fica de frente para o espelho primário. O espelho terciário fica no meio do espelho primário, atrás dele, e remove o astigmatismo resultante e também achata o plano focal. Isso também permite um campo de visão mais amplo. O telescópio espacial James Webb tem três espelhos: primário, secundário e terciário, como mostra a Tabela 6 ([DUNBAR, 2023](#)).

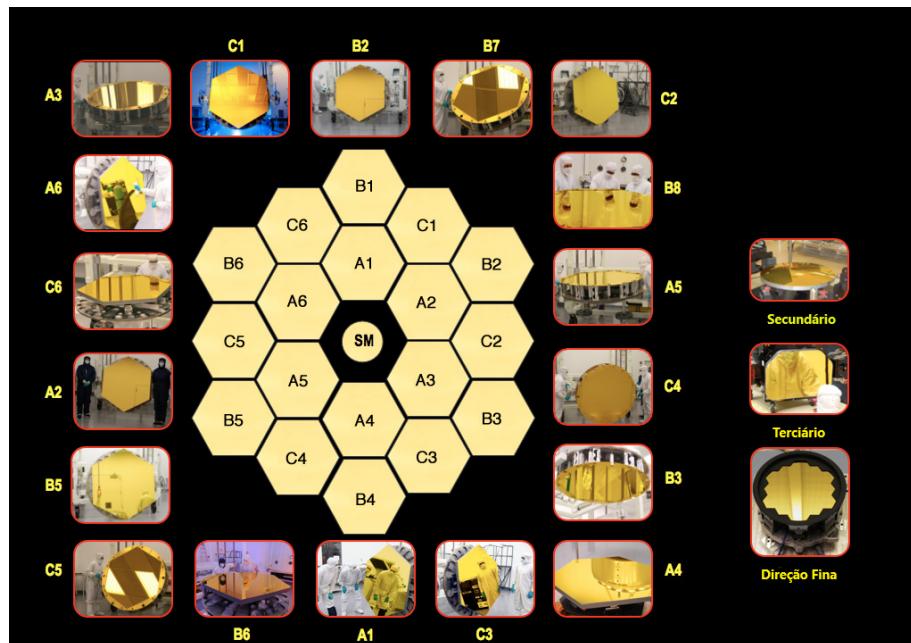


Tabela 6 – Demonstração dos espelhos que constituem o Telescópio Espacial James Webb.
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Esses espelhos são cobertos por uma camada fina de ouro microscópica, que otimiza a reflexão da luz infravermelha, sendo o comprimento de onda principal da luz ([DUNBAR, 2023](#)). Os espelhos funcionam assim: a luz de estrelas e galáxias distantes atinge primeiro o espelho primário, que a reflete em um feixe focado em direção ao espelho secundário. A partir daí, o feixe é enviado através do orifício na estrutura do espelho primário para os espelhos terciários e finos e, eventualmente, para os quatro instrumentos científicos que ficam atrás do espelho primário, conforme mostrado nesta vista ([DUNBAR, 2023](#)).

Nesta configuração da Figura 50, a luz chega ao espelho primário, é focada no espelho secundário e é enviada para a estrutura piramidal preta, onde ficam os espelhos terciários. Em seguida, ela segue para trás, onde estão os instrumentos, as câmeras e os espectrômetros ([DUNBAR, 2023](#)).

O Painel Traseiro é o que suporta toda a estrutura em que estão os espelhos hexagonais. Ele tem o propósito de transportar não apenas o espelho primário, como também as demais ópticas do telescópio e os instrumentos científicos. Esse painel sustenta mais de 2.400 kg de hardware. Ele precisa permanecer imóvel por ser a coluna do telescópio,

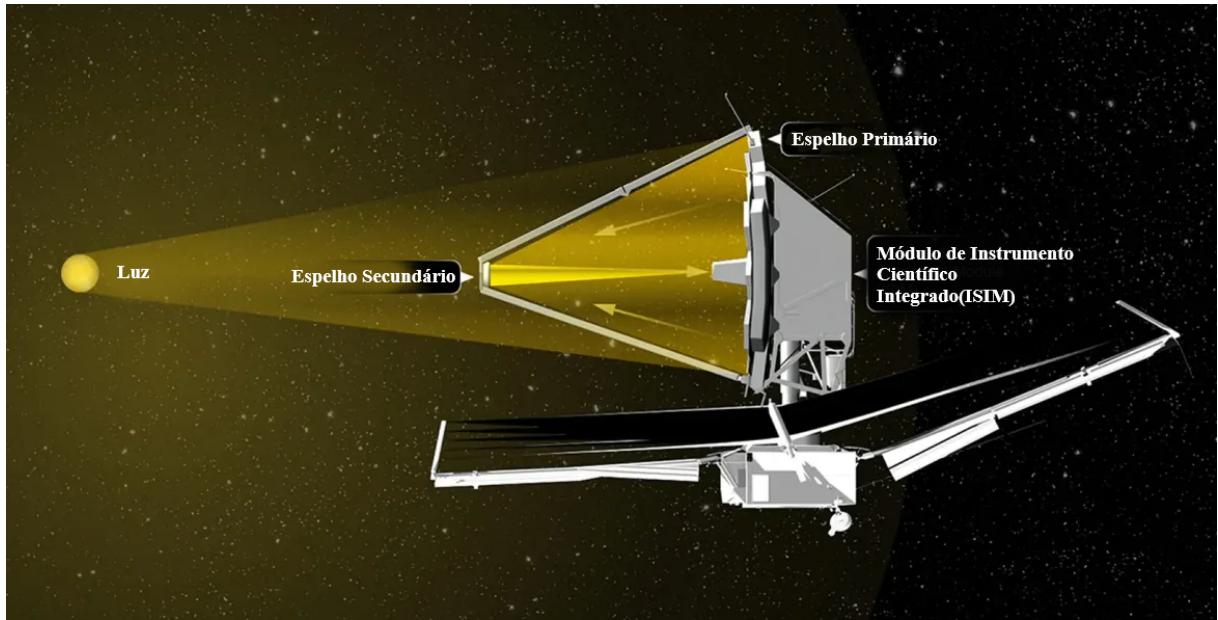


Figura 50 – Demonstração da passagem da luz pelo Telescópio Espacial James Webb.
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

permitindo que os espelhos façam seu trabalho de coletar a luz mais profunda do espaço ([DUNBAR, 2023](#)). Assim, ele precisa estar extremamente firme para que os espelhos se concentrem no que estão observando ([DUNBAR, 2023](#)).

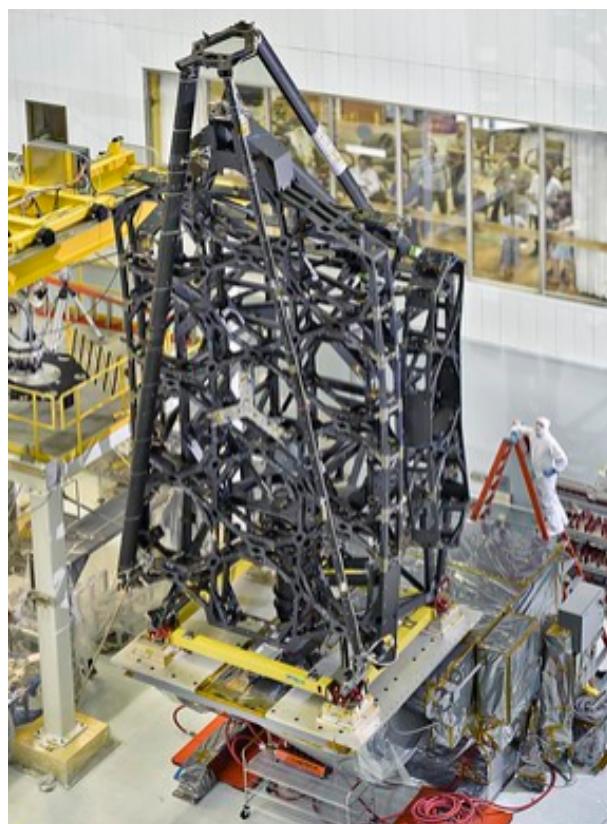


Figura 51 – A estrutura do Painel Traseiro de James Webb.
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

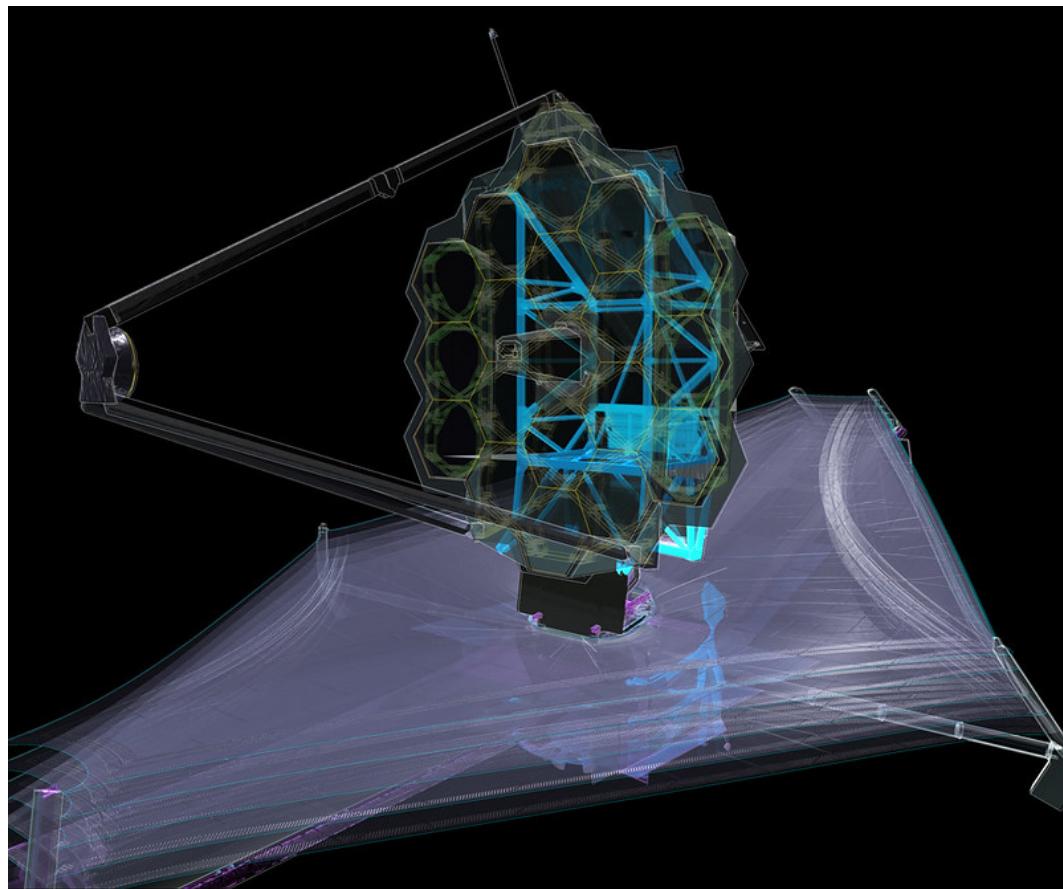


Figura 52 – Configuração de montagem.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O Painel Traseiro, também chamado de estrutura do telescópio, contém a estrutura de suporte do espelho secundário, que é o principal dispositivo de suporte do painel traseiro, e a estrutura de torre implantável que levantou o telescópio para fora da nave espacial. Seus três braços no topo se juntam em um anel onde o espelho secundário está localizado ([DUNBAR, 2023](#)).

Na estrutura do painel está a instalação dos pacotes de instrumentos científicos do telescópio. Assim, quando os espelhos captam a luz, ela é direcionada para o Modelo de Instrumentação Científica Integrada (ISIM), onde estão as câmeras e outros instrumentos do James Webb ([DUNBAR, 2023](#)). Os instrumentos são compostos por:

- Câmera de Infravermelho Próximo (NIRCam).
- Espectrógrafo Infravermelho Próximo (NIRSpec).
- Instrumento de Infravermelho médio (MIRI).
- Sensor de Orientação Fina - Infravermelho Próximo e Espectrógrafo sem Fenda (FGS - NIRISS).

A Câmera Infravermelha Próxima (NIRCam), como demonstrado na Figura 53, é o principal gerador de imagens do telescópio, e é por ela que cobre a faixa infravermelha de 0,6 a 5 mícrons. Essa câmera detecta a luz das estrelas e galáxias em processo de formação, da população de estrelas em galáxias próximas, assim como estrelas jovens em objetos da Via Láctea e no Cinturão de Kuiper ([DUNBAR, 2023](#)).

Ele é todo equipado com coronógrafos, que são instrumentos que permitem aos astrônomos tirar fotos de objetos muito fracos em torno de um objeto mais luminoso, de modo que o objeto mais escuro possa ser visualizado ([DUNBAR, 2023](#)).

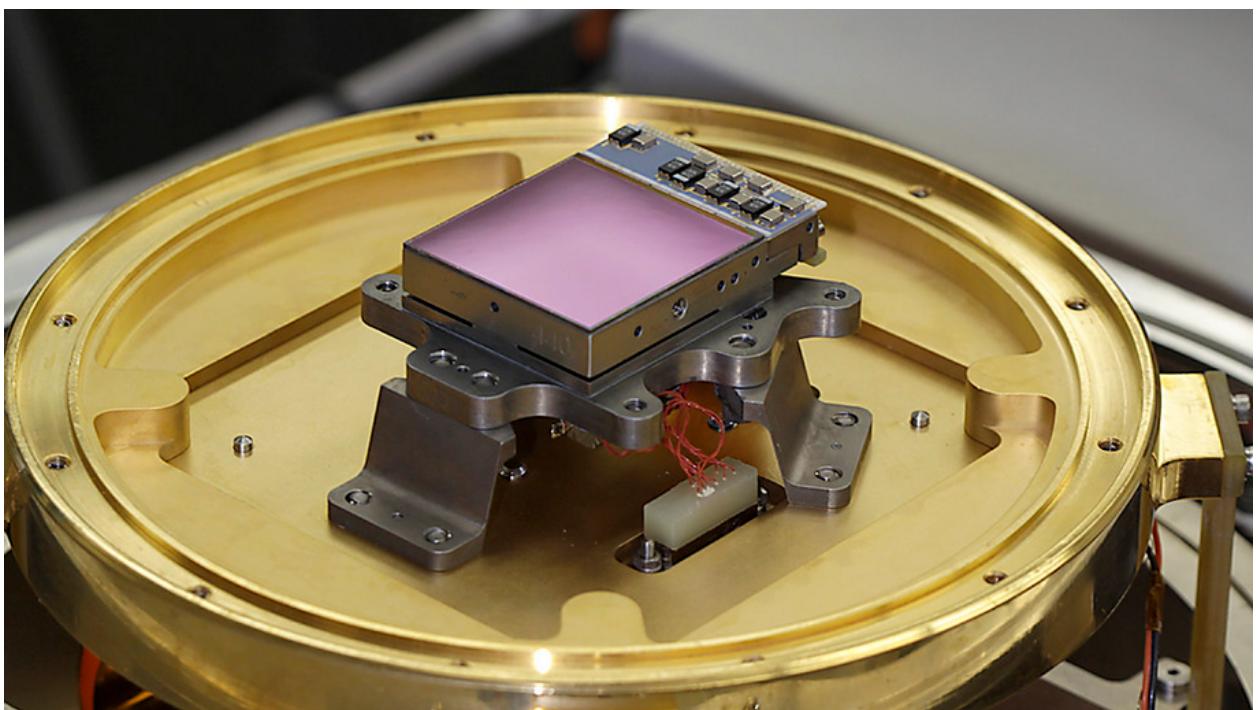


Figura 53 – Câmara Infravermelha Próxima (NIRCam).

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

NIRCam é uma tecnologia que usa dois tipos de detectores: as matrizes de detectores de Cádmio Mercúrio Telureto (HgCdTe). Essas matrizes auxiliam na pesquisa do céu de forma drástica. NIRCam também é um instrumento científico que contém um sensor de frente de onda, que é o elemento de um telescópio óptico. O Arsênico Doping em Silício (Si:As), por outro lado, utiliza tipos de detectores meio-infravermelhos ([DUNBAR, 2023](#)).

Esses detectores de infravermelho próximo foram construídos pela empresa Sensores de Imagem Teledyne(H2RG). Ele possui cerca de 4 milhões de píxeis. Já os detectores de infravermelho médio, cada um com cerca de 1 milhão de píxeis, foram construídos pelos Sistemas de Visão Raytheon ([DUNBAR, 2023](#)).

O HgCdTe tem algumas vantagens: quando se consegue ter uma variação na proporção do mercúrio para o cádmio. Isso permite regular o material para a detecção da luz de comprimento de onda mais amplo ou reduzido ([DUNBAR, 2023](#)).

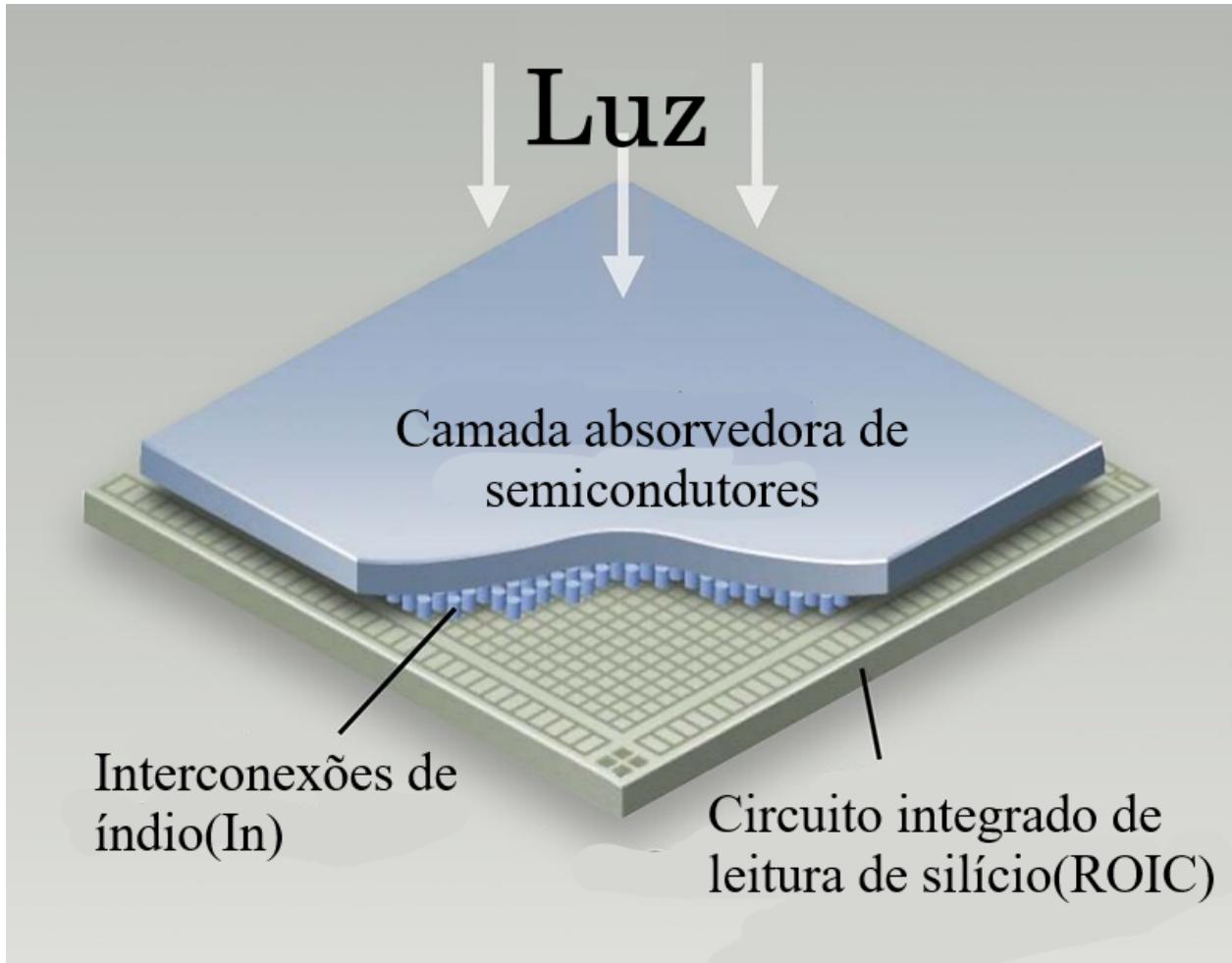


Figura 54 – O Telescópio Espacial James Webb usa híbridos detectores infravermelhos. A camada absorvente pixelizada (HgCdTe ou Si:As) absorve a luz e a converte em tensões em píxeis individuais. As interconexões de índio unem cada píxel na camada absorvente ao Circuito Integrado de Leitura de Silício (ROIC). O ROIC contém circuitos eletrônicos que transportam os sinais de mais de 1 milhão de píxeis para apenas algumas leituras para processamento adicional.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O Espectrógrafo Infravermelho Próximo (NIRSpec) é um instrumento que opera em uma faixa de comprimento de onda de 0,6 a 5 mícrons. O espectrógrafo, também conhecido como espetrômetro, é utilizado para dispersar a luz de um objeto em um espectro. Esse espectro contém informações sobre as propriedades físicas do objeto, como massa, temperatura e composição química. Ele também revela os átomos e moléculas presentes no objeto, pois cada elemento químico emite linhas em seu espectro. Isso permite a obtenção de um sinal digital para cada elemento químico presente, fornecendo uma riqueza de informações sobre as condições físicas do objeto. Para a exploração do cosmos, as ferramentas utilizadas são a espectroscopia e a spectrometria ([DUNBAR, 2023](#)).

James Webb está sendo utilizado para estudar as primeiras galáxias que se formaram após o Big Bang. Para isso, seus espelhos precisam observar por centenas de horas para

coletar uma imensa quantidade de luz que seja suficiente para formar imagens e espectros. O NIRSpec, projetado para esse fim, tem a capacidade de observar 100 objetos ao mesmo tempo, sendo o único no espaço com essa notável capacidade multiobjeto. Para controlar a entrada de luz no NIRSpec, os cientistas desenvolveram um sistema microeletromecânico chamado "Micro Shutter" ([DUNBAR, 2023](#)).

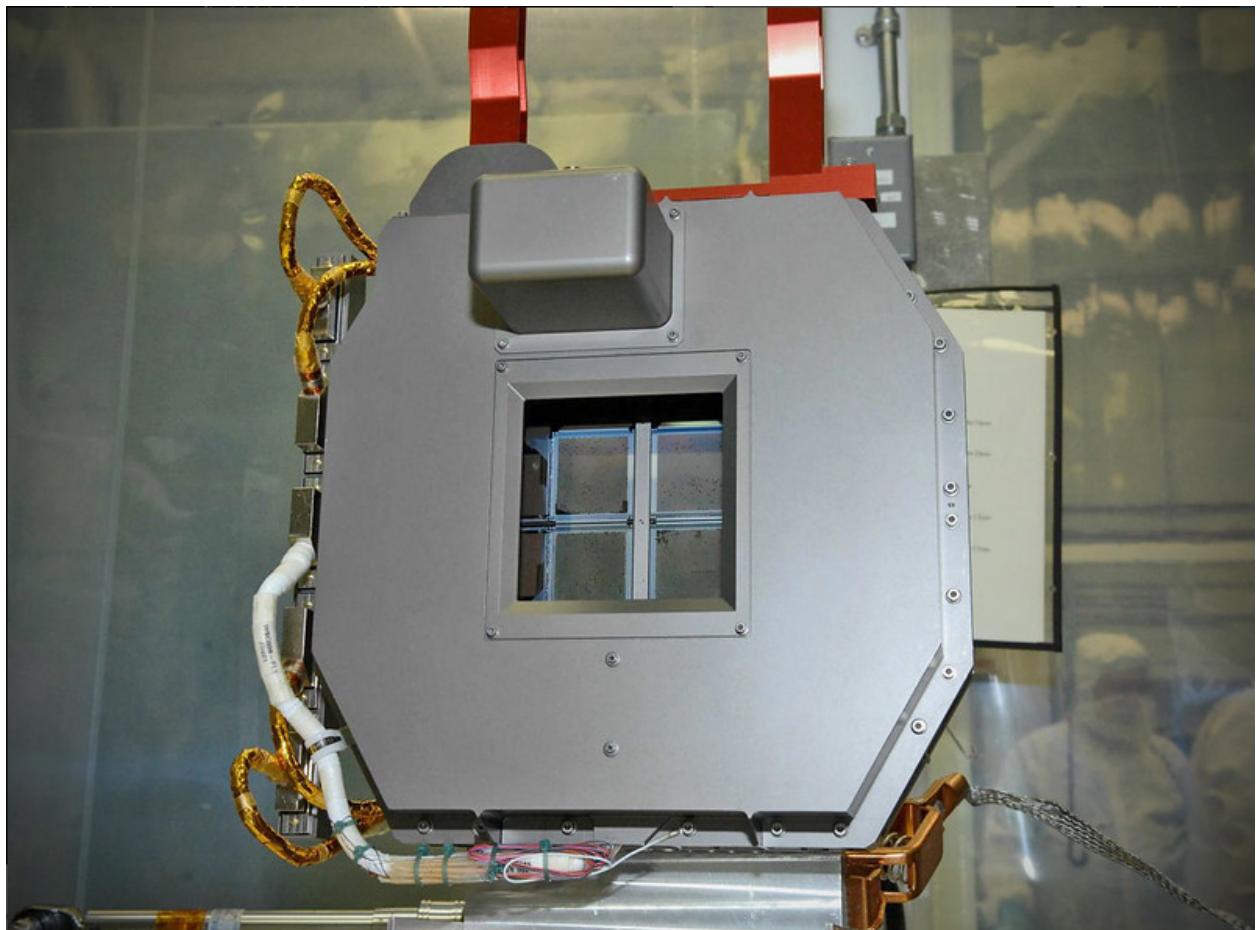


Figura 55 – Espectrógrafo Infravermelho Próximo (NIRSpec).

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O Instrumento de Infravermelho Médio (MIRI) é um instrumento constituído por uma câmera e um espectrógrafo. É através deles que se observa a luz na região do infravermelho médio do espectro eletromagnético. Seus comprimentos de onda são mais longos, cobrindo uma faixa de comprimento de onda de 5 a 28 microns. A câmera proporciona imagens de banda larga e de campo largo, continuando a tradição da astrofotografia. Já o espectrógrafo oferece espectroscopia de resolução média, contribuindo para a descoberta de novos detalhes físicos em objetos distantes ([DUNBAR, 2023](#)).

A luz vermelha de galáxias distantes, estrelas recém-formadas, cometas tenuíssimas e objetos no Cinturão de Kuiper só podem ser vistas através de seus detectores sensíveis ([DUNBAR, 2023](#)). Na Figura 56, mostra-se o instrumento MIRI.

Ele também possui três matrizes com detectores de silício (Si) em conjunto com

arsênio (As) ([DUNBAR, 2023](#)).

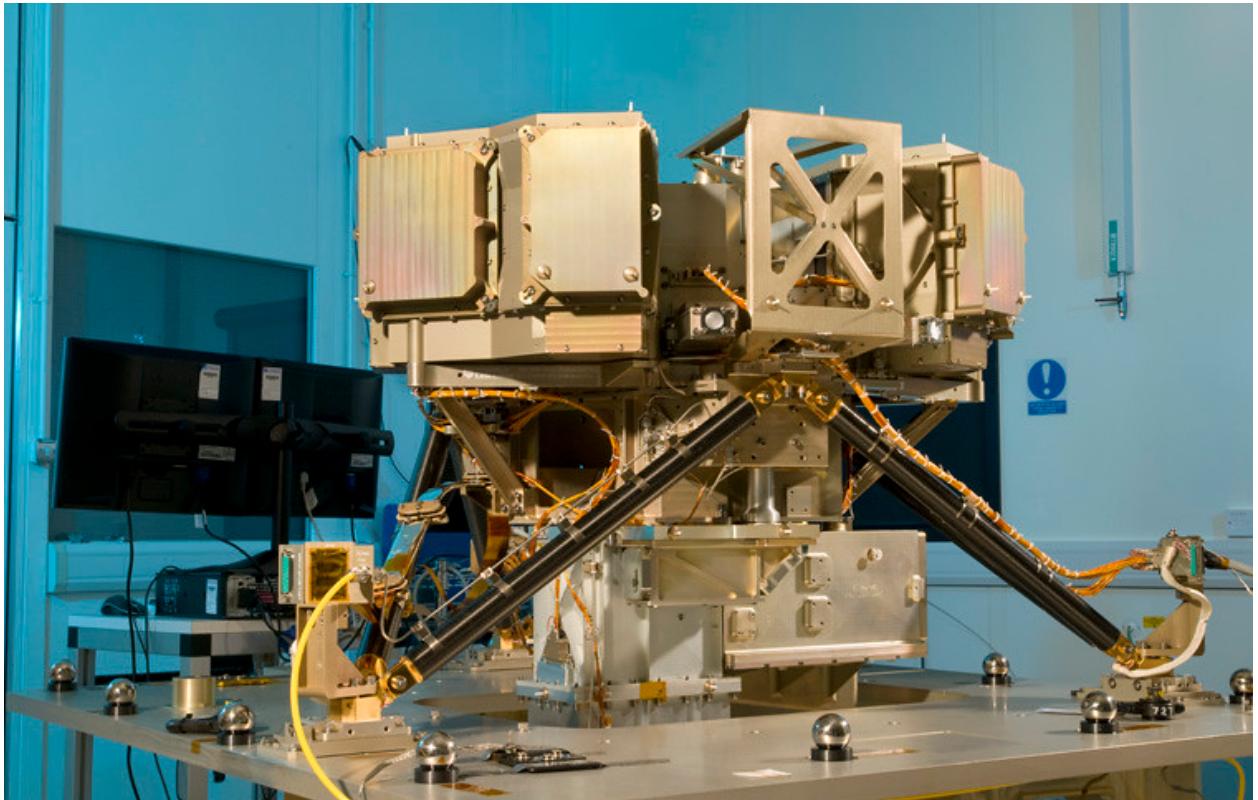


Figura 56 – Instrumento de Infravermelho Médio (MIRI).

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Para que todos os instrumentos científicos e a ótica do telescópio espacial James Webb funcionem perfeitamente, eles precisam ser resfriados. Só assim podem suprimir a radiação infravermelha. Em cada instrumento, há um detector que tem a função de converter sinais de luz infravermelha em sinais elétricos. Para isso, esses detectores precisam estar frios para funcionar. Geralmente, quanto maior o comprimento de onda da luz infravermelha, mais frio o detector precisa ser. Isso, por sua vez, limita a geração de ruído imprevisto dos elétrons ([DUNBAR, 2023](#)).

Para esfriar os instrumentos, James Webb possui o Cryocooler, como demonstrado na Figura 57 ([DUNBAR, 2023](#)).

É um equipamento de última geração em crio-resfriadores de voo espacial nesta classe de energia e temperatura. O sistema possui duas maneiras de operação: pré-resfriamento, que usa três estágios de resfriamento por tubos de pulso, e resfriamento principal, com sistema JT. A separação entre o pré-resfriador e o hardware de resfriamento JT é de apenas alguns centímetros, e não de vários metros ([DUNBAR, 2023](#)).

O compressor Cryocooler (CCA) está localizado no coração do módulo de serviço do telescópio espacial James Webb, onde ele aquece o escudo solar do observatório. Lá, ele pré-resfria e bombeia o gás hélio até o MIRI, passando por tubulações ([DUNBAR, 2023](#)).

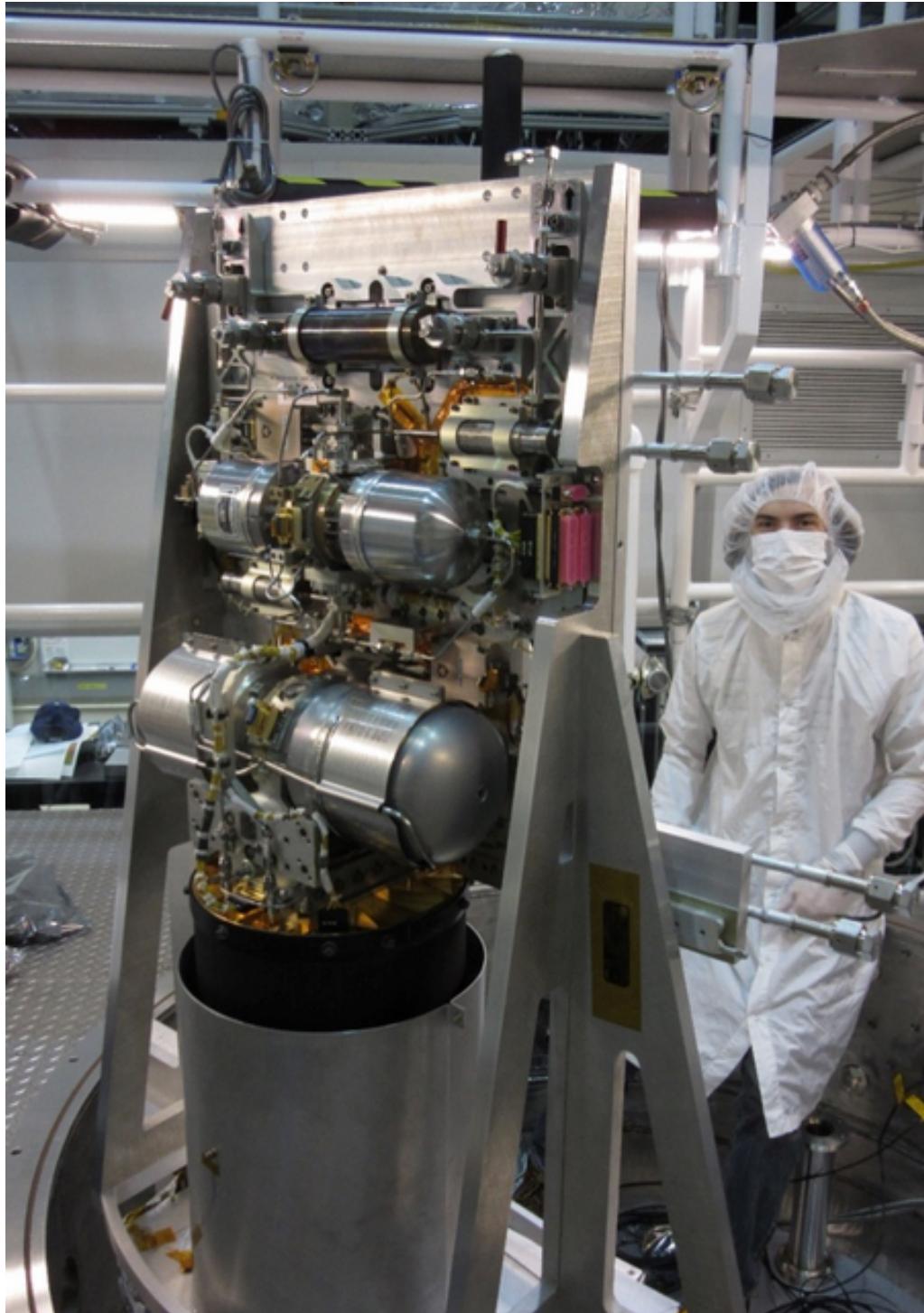


Figura 57 – Compressor Cryocooler (CCA).

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O Sensor de Orientação Fina - Infravermelho Próximo e Espectrógrafo Sem Fenda (FGS - NIRISS) tem uma faixa de comprimento de onda de 0,8 a 5,0 mícrons. O FGS é o Sensor de Orientação Fina que serve para obter imagens de alta qualidade. Já o NIRISS serve para investigar a primeira detecção de luz, a detecção e caracterização de exoplanetas e espectroscopia de trânsito de exoplanetas ([DUNBAR, 2023](#)). Na Figura 58, mostra-se o instrumento FGS/NIRISS.

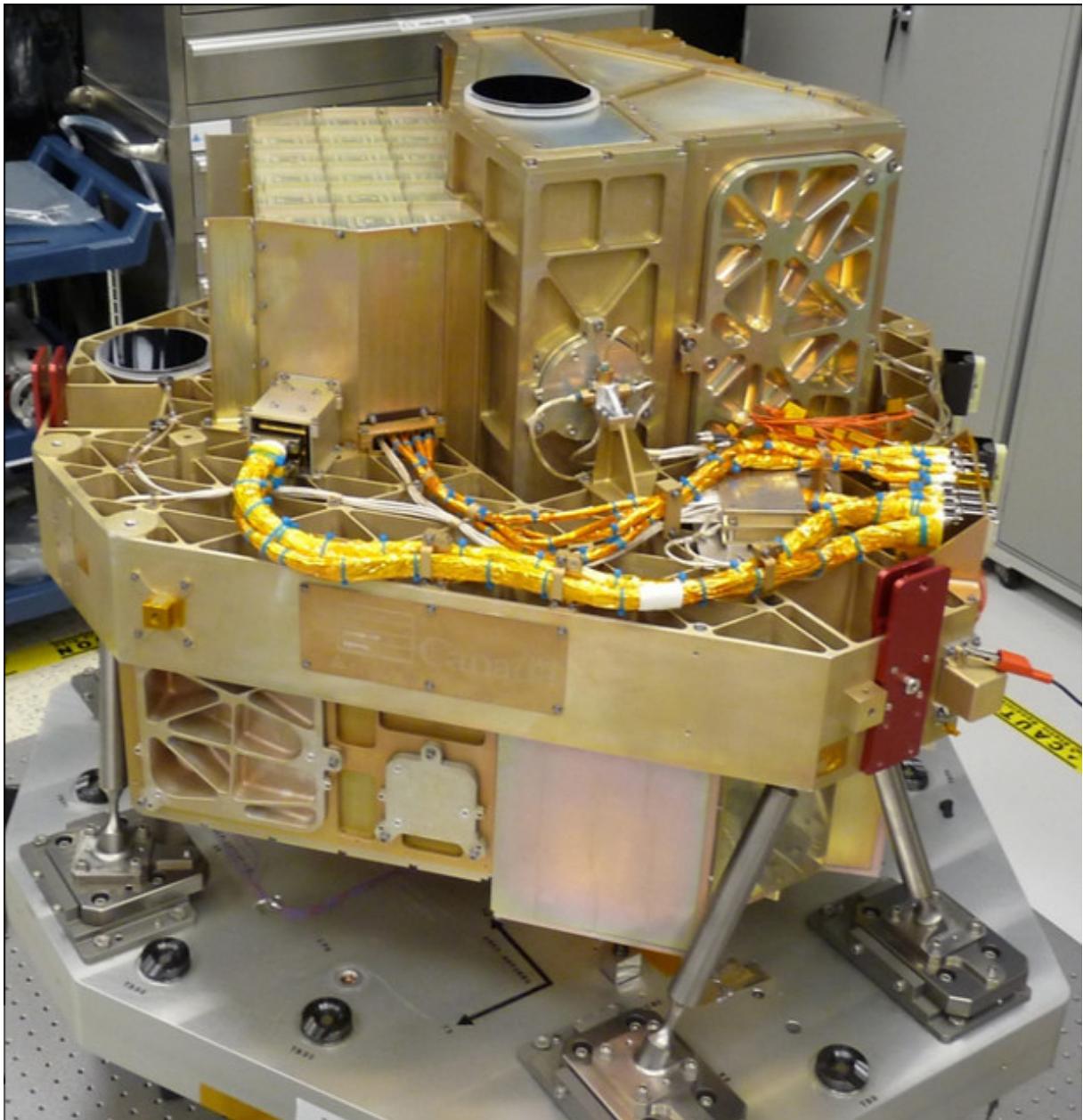


Figura 58 – Sensor de Orientação Fina/Infravermelho Próximo e Espectrógrafo (FGS/NIRISS).

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Os últimos instrumentos muito importantes do observatório James Webb são:

- Protetor Solar.
- Ônibus Espacial.

O protetor solar é uma proteção que afasta o instrumento do lado quente voltado para o Sol e o mantém em um lado frio oposto ao Sol. Essa proteção impede que o calor do Sol, da Terra e do ônibus espacial chegue ao OTE e ao ISIM, pois esses instrumentos precisam se manter frios dentro do observatório. O protetor solar bloqueia a luz do

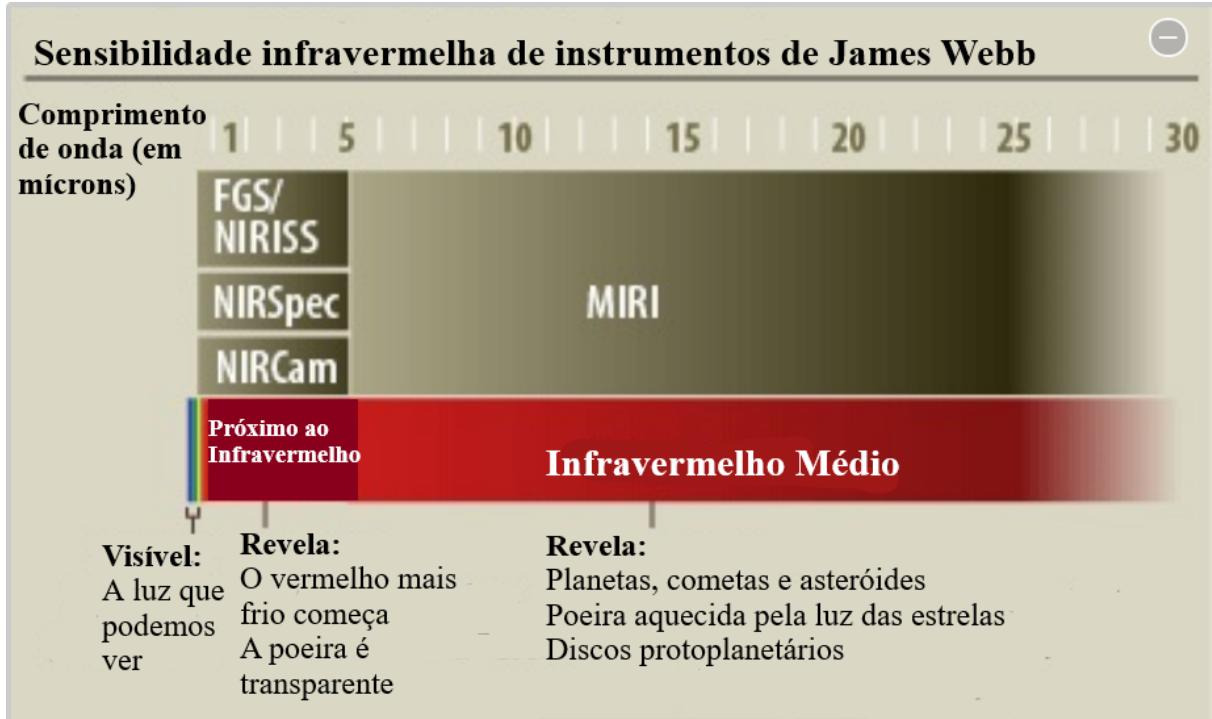


Tabela 7 – Nessa tabela mostram-se as faixas de comprimento de onda. O NIRCam, o NIRSpec cobrem a faixa de 0,6 a 5 micrões; o MIRI cobre a faixa de 5 a 28 micrões; e o FGS/NIRISS cobre a faixa de 0,8 a 5,0 micrões.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Sol, da Terra e da Lua, o que é crucial para manter a temperatura do telescópio baixa e evitar que ele seja ofuscado pelas estrelas fracas que capta. Ele compõe-se de duas grandes plataformas que estão colocadas em cada lateral, que se abrem, uma de cada vez, do protetor solar. Assim, um sistema complexo é colocado nele, sendo as roldanas e os motores de tensão e expansão na proteção solar, em cada um dos seis vértices. Tensionamos individualmente cada uma das cinco camadas para chegar aos formatos e às posições corretas, uma em relação à outra. O protetor não é feito de metal, mas sim dobrado como um guarda-chuva. Assim, foram realizados em três acionamentos em escala completa, redobrando as camadas do protetor várias vezes ([DUNBAR, 2023](#)). Na Figura 59, está sendo demonstrado o processo.

O protetor solar propicia que o telescópio esfrie até uma temperatura de -223,15°C, irradiando constantemente seu calor para o espaço. Os instrumentos de infravermelho próximo que são o NIRCam, NIRSpec e FGS-NIRISS operam a uma temperatura de cerca de -239,1°C através de um sistema de refrigeração passivo. Agora, o MIRI funciona a uma temperatura de -266,15°C utilizando um frigorífico de hélio ou sistema criogênico. O protetor solar, além de proporcionar um ambiente frio, também proporciona um ambiente termicamente estável. Assim, quando o telescópio se move na direção em que o Sol está, o protetor é importante para que os segmentos do espelho primário tenham um alinhamento ideal ([DUNBAR, 2023](#)).

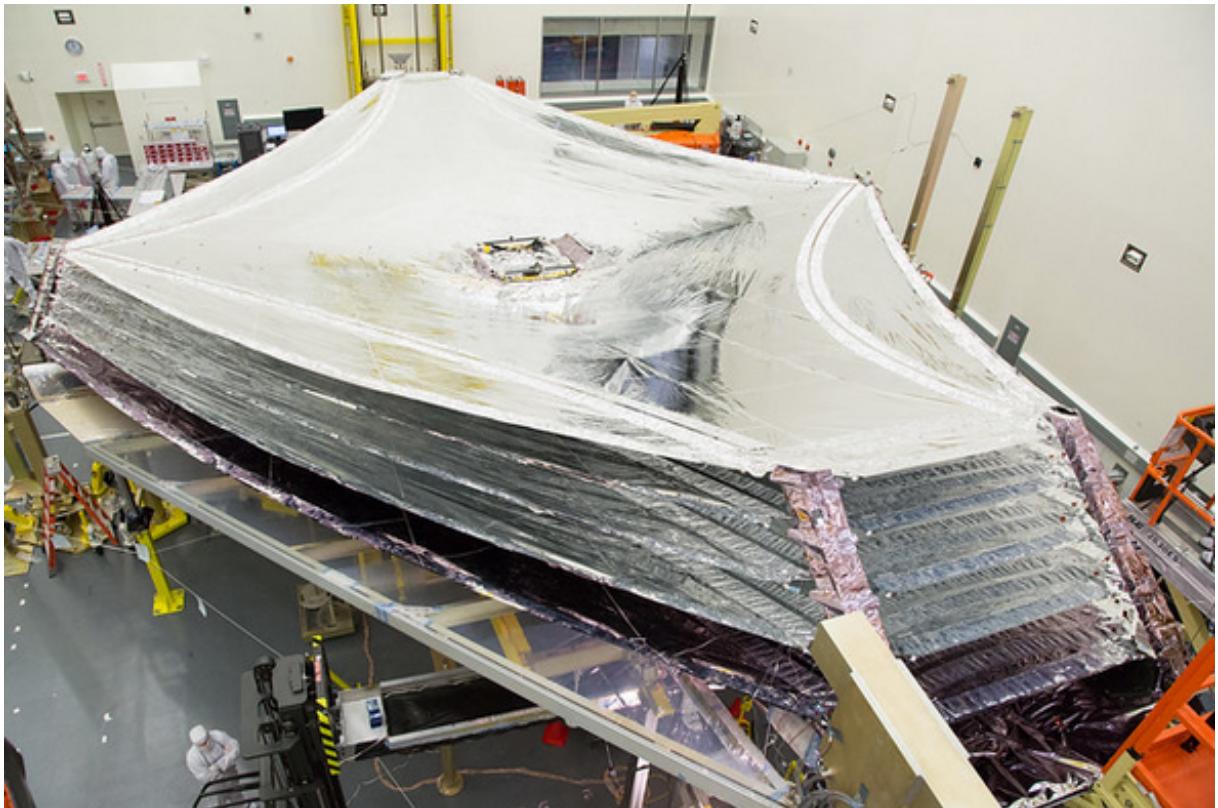


Figura 59 – Protetor Solar

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O Ônibus Espacial é um suporte que proporciona funções para observatório. Para a execução da espaçonave, ele possui seis principais subsistemas fundamentais que são:

1. Subsistema de controle de atitude: um detector que orienta o observatório. Esse detector posiciona o observatório para estar em uma órbita estável, que permite que o ponto focal do observatório esteja na área do céu onde é observado pelos instrumentos científicos.
2. Subsistema de controle térmico: é onde conserva a temperatura de execução do ônibus espacial.
3. Subsistema de comando e tratamento de dados (CeDH): é o cérebro do ônibus espacial. Esse subsistema recebe comandos no sistema de comunicações e os direciona para o destinatário adequado. Ele contém um computador e um Processador de Telemetria de Comando (CTP), além de equipamentos de memória e armazenamento de dados. O CeDH controla a relação entre os instrumentos científicos, o Gravador de Estado Sólido (SSR) e o sistema de comunicação.
4. Subsistema de comunicação: é onde se localizam os “ouvidos” e a “boca” do observatório. Esse subsistema recebe as orientações que vem do comando do Centro

de Controle de Operações (OCC) e envia as informações científicas e de status dos dados para o OCC.

5. Subsistema de energia elétrica: é o que transforma a luz solar que atinge os painéis solares na energia necessária para operar os demais subsistemas do ônibus espacial.
6. Subsistema de propulsão: são sistemas que possuem tanques de combustível e foguetes que auxiliam na manutenção da órbita do ônibus espacial.



Figura 60 – Ônibus Espacial.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Além de todas essas características que estão presentes no James Webb, temos também alguns elementos complementares ([DUNBAR, 2023](#)), que são:

- Antena apontada para Terra: que serve para enviar dados científicos de volta para a Terra, e esse equipamento recebe comandos da Rede de Espaço Profundo da NASA.
- Uma Batida do Momento: serve para equilibrar a pressão solar no escudo térmico, como uma batida de queda da vela, não sendo algo adaptável em órbita, mas apenas na superfície.
- Painel Solar: serve para estar apontado para o Sol para transformar a luz solar em eletricidade para abastecer o observatório.

- Rastreadores de Estrelas: são pequenos telescópios que usam catálogos estelares para apontar para o céu e rastrear o movimento das estrelas.

Na Figura 61, estão todos os instrumentos que constituem o Telescópio Espacial James Webb.

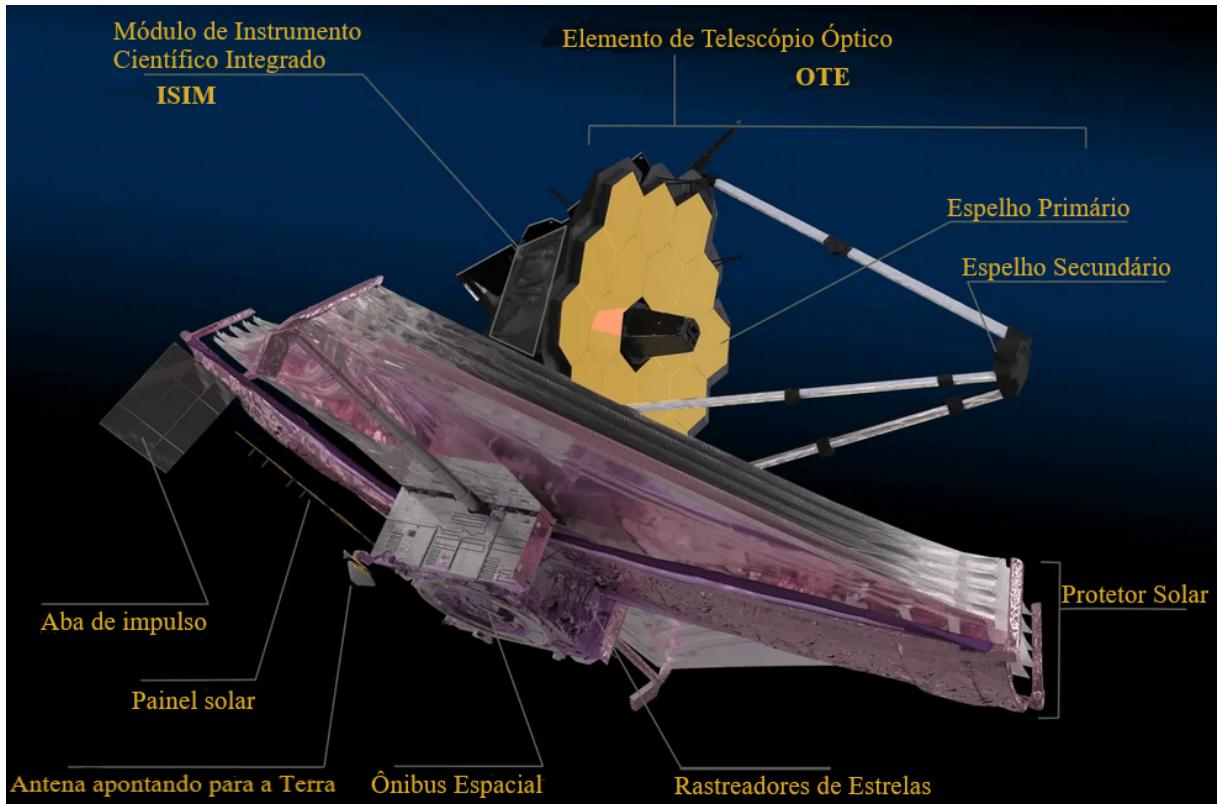


Figura 61 – Instrumentos de James Webb.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

O posicionamento de James Webb foi algo muito bem-planejado. Joseph Louis Lagrange (1736-1813) foi um matemático que inventou os cinco pontos imaginários no espaço. Esses pontos conhecidos como pontos de Lagrange são pontos em torno das órbitas da Terra e do Sol. Qualquer objeto que for colocado nesses pontos entrará em órbita com a Terra. O L1, L2 e L3 estão ligados e estão na mesma reta que passa pela Terra e pelo Sol. Já o L4 e L5, estão localizados nas órbitas da Terra ([LOOS, 2022](#)).

A posição de James Webb é no L2 ou Lagrange 2, orbita o Sol na mesma frequência que os outros corpos. Ele orbita com a Terra, a velocidade angular é a mesma, então ambos orbitam o Sol com a mesma frequência. Por estar nesse ponto, James Webb está protegido da luz solar, assim pode usar o infravermelho para suas descobertas ([LOOS, 2022](#)).

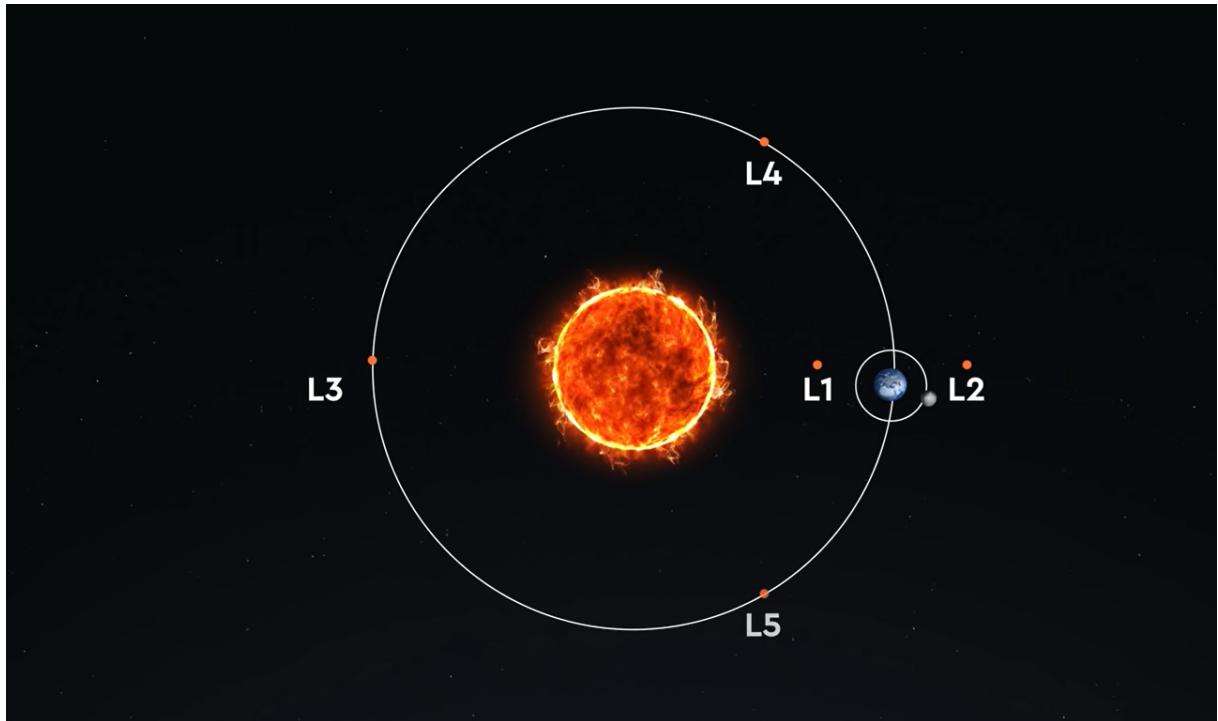


Figura 62 – Os Pontos 1,2,3,4 e 5 de Lagrange
Fonte: ([LOOS, 2022](#))

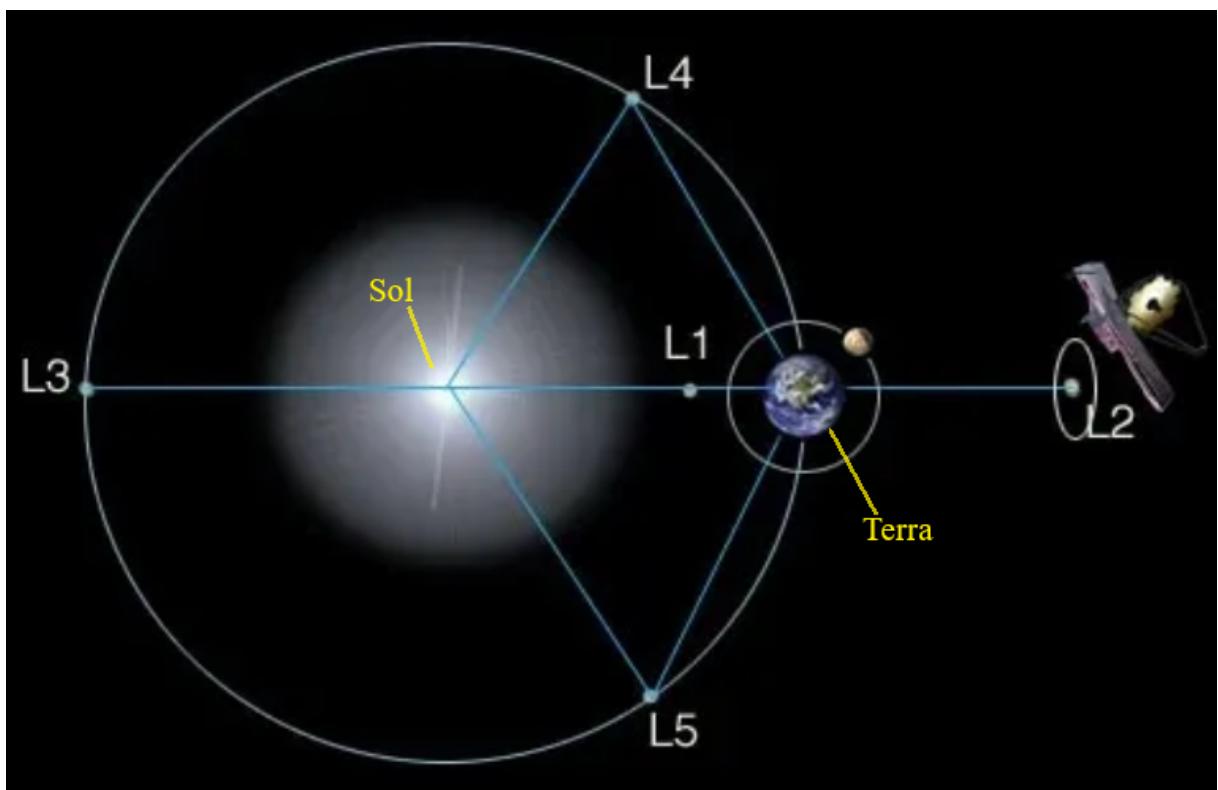


Figura 63 – Ponto L2: Telescópio Espacial James Webb.
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

4.3 Descobertas

O Telescópio Espacial James Webb fez muitas observações desde o seu lançamento em 2021. Webb mostrou algo muito maior e muito mais profundo no universo. James Webb é uma evolução para todos os cientistas. Ele é como uma máquina no tempo que nos leva ao passado para nos mostrar o futuro, permitindo que observemos o universo como ele era bilhões de anos atrás.

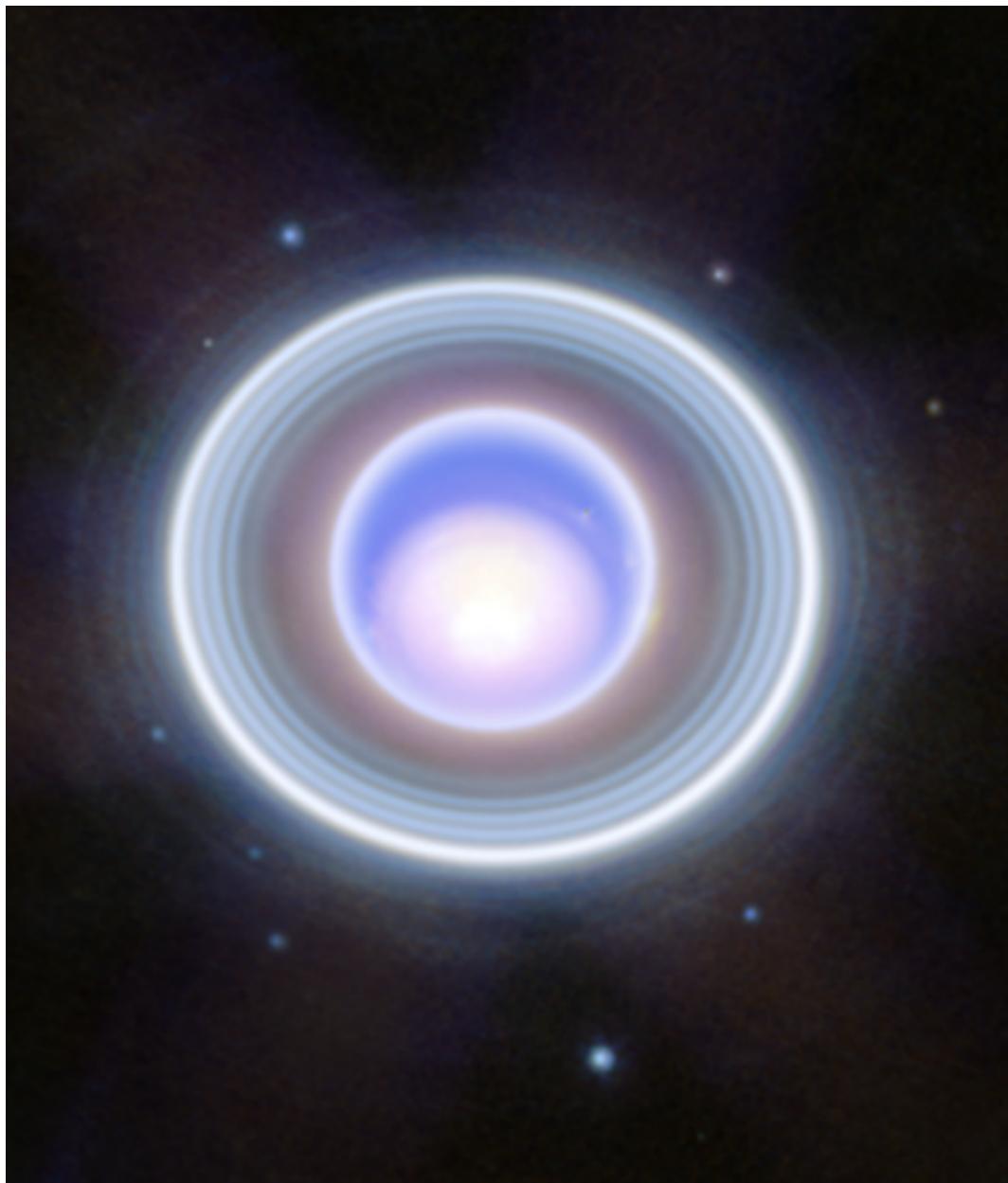


Figura 64 – Urano e seus anéis escuros internos e externos, com 9 luas orbitando o planeta. James Webb mostra a calota sazonal da nuvem polar norte do planeta. À medida que Urano se inclina em direção ao Sol, aproximando-se do solstício, ele recebe mais luz solar.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 65 – Galáxias Quinteto Stephan: Galáxias interligadas provocam a formação de estrelas umas nas outras, o que perturba o gás nas galáxias. Aqui também são mostrados fluxos de saída disparados por um buraco negro no Quinteto, com um nível de intensidade nunca visto antes. O Quinteto de Stephan está a 290 milhões de anos-luz de distância.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 66 – Pilares da Criação: Uma nova visão com a luz do infravermelho próximo de James Webb nos ajuda a observar melhor o espaço de formação estelar. Esses Pilares da Criação se assemelham a aros e picos, mas são compostos gás e poeira semitransparentes. Nesse espaço, as estrelas jovens estão se formando. Essas estrelas em formação são mostradas como estrelas vermelhas brilhantes. As linhas que estão nas bordas dos pilares que parecem lava são erupções de estrelas que continuam se formando dentro do gás e da poeira. No segundo e no terceiro Pilares, o brilho carmesim vem das moléculas de hidrogênio energético que se originam de jatos e colisões. Os Pilares da Criação estão a 6.500 anos-luz de distância.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 67 – Galáxia Fantasma: Uma galáxia espiral, também chamada de Messier 74 ou M74, é difícil de ser detectada por pequenos telescópios. A luz do infravermelho próximo de James Webb revela o gás e poeira dessa galáxia. A Galáxia Fantasma está a 32 milhões de anos-luz de distância.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 68 – Nebulosa do Anel do Sul: James Webb captura a última imagem da nebulosa, com uma estrela anã branca em seu centro em seus últimos momentos de vida. A Nebulosa do Anel Sul expeliu anéis de gás e poeira por milhares de anos em todas as direções. A Nebulosa do Anel do Sul está a 2.000 anos-luz de distância.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

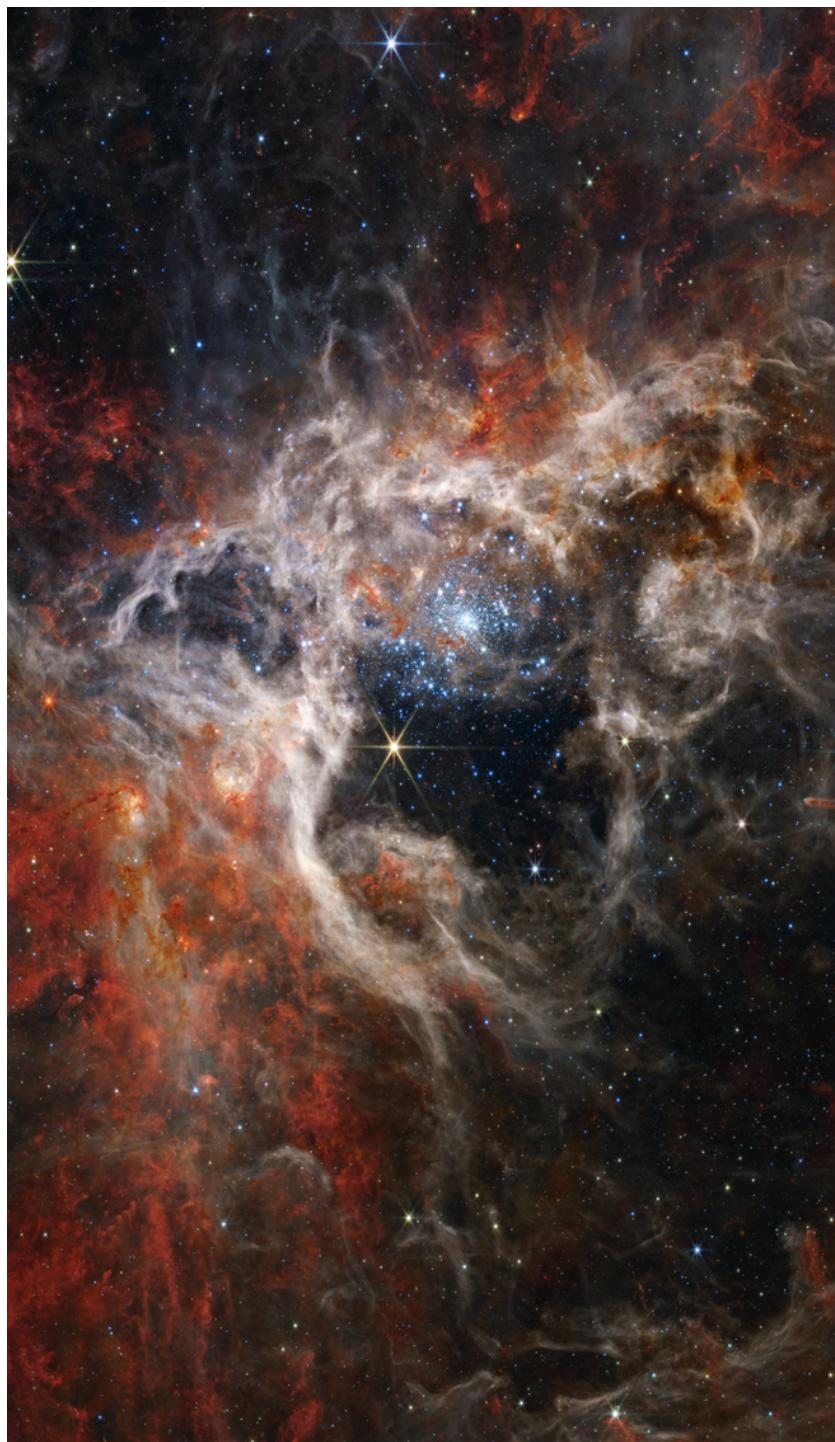


Figura 69 – Nebulosa da Tarântula: A câmera de infravermelho próximo mostra a formação estelar da nebulosa em uma nova luz, revelando dezenas de milhares de estrelas jovens nunca vistas antes, que estavam encobertas por poeira cósmica. A região mais ativa parece brilhar com estrelas jovens massivas, com um brilho azul pálido. O espectrógrafo infravermelho próximo mostra uma estrela que está começando a emergir em seu pilar, que anteriormente sustentava uma nuvem isolante de poeira ao seu redor. No infravermelho médio, a região apresenta uma aparência diferente, com uma visão nos comprimentos de onda infravermelhos mais longos. As estrelas mais quentes desaparecem, enquanto gás e a poeira mais frios brilham. A Nebulosa da Tarântula está a 170 mil anos-luz de distância.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 70 – Galáxia Roda de Carroça: Uma visão espetacular de galáxias em colisão. James Webb revelou novos detalhes sobre a formação das estrelas e o buraco negro central da galáxia. O infravermelho produziu imagens detalhadas da Galáxia Roda de Carroça e de duas galáxias companheiras menores em um campo repleto de outras galáxias. A Galáxia Roda de Carroça está a 500 milhões de anos-luz de distância.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 71 – Nebulosa Carina: Uma visão em formato de montanhas e vales com estrelas brilhantes espalhadas por toda a sua extensão. Uma formação estelar conhecida como NGC 3324, localizada na direção da Nebulosa Carina. A luz infravermelho do Webb captura imagens de áreas anteriormente invisíveis de nascimento de estrelas. A Nebulosa Carina está a 7.600 anos-luz de distância da Terra.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 72 – Exoplaneta Wasp-39b: Recente descoberta de dióxido de carbono em sua atmosfera, orbitando uma estrela anã amarela similar ao Sol. Essa é a primeira evidência clara e detalhada de dióxido de carbono detectado na atmosfera de um exoplaneta. O Exoplaneta Wasp-39b está a 700 anos-luz de distância da Terra.

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

5 Comparação entre Hubble e James Webb

Hubble e James Webb são grandes telescópios espaciais que trabalham tanto separados quanto juntos para desvendar o universo. Mas, eles têm uma grande diferença em sua estrutura e características, como podemos ver nas Tabelas 8 e 9, e nas Figuras 73 e 74:

Nome	Telescópio Espacial Hubble	Telescópio Espacial James Webb
Data Lançamento	24 de Abril de 1990	25 de Dezembro de 2021
Diâmetro Espelho Primário	2,4 metros de diâmetro	6,5 metros de diâmetro
Massa	12.246 Kg	6.161,4 Kg
Espaçonave de lançamento	Ônibus Espacial Discovery	Ariane 5
Apoastro	570 Km acima da Terra	1,5 milhões de Km da Terra
Missão	Telescópio Espacial: Entender o Universo	Astrofísica: Examinar a radiação infravermelha e observar o nascimento do Universo
Duração (em andamento)	34 anos	2 anos
Tipo	Telescópio Refletor	Telescópio Refletor
Comprimento de Onda	Infravermelho próximo, Ultra-Violeta e Luz Visível	Infravermelho próximo e Infravermelho médio
Campo Profundo	12.5 bilhões de anos	13,5 bilhões de anos
Equipamentos	OTA, Instrumentos de e-In, Sistema de Controle de Aponte, Potência Elétrica e Comunicações	OTE, ISIM, Protetor Solar, Ônibus Espacial, Antenas, Painel Solar, Rastreadores de Estrelas e Aba de impulso
Valor	2 bilhões de dólares	10 bilhões de dólares

Tabela 8 – Hubble X James Webb

Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

Além características diferentes, também conseguimos ver suas diferenças através das imagens que são geradas através dos telescópios. Nas Figuras 75, 76, 77, 78 e 79 seguem a comparação das diferentes descobertas entre Hubble e James Webb.

Embora existam diferenças entre eles, os telescópios espaciais são ferramentas extraordinárias que nos permitem observar a vastidão do Universo. É graças a eles que conseguimos aprender e compreender a origem, a evolução e os mistérios do cosmos.

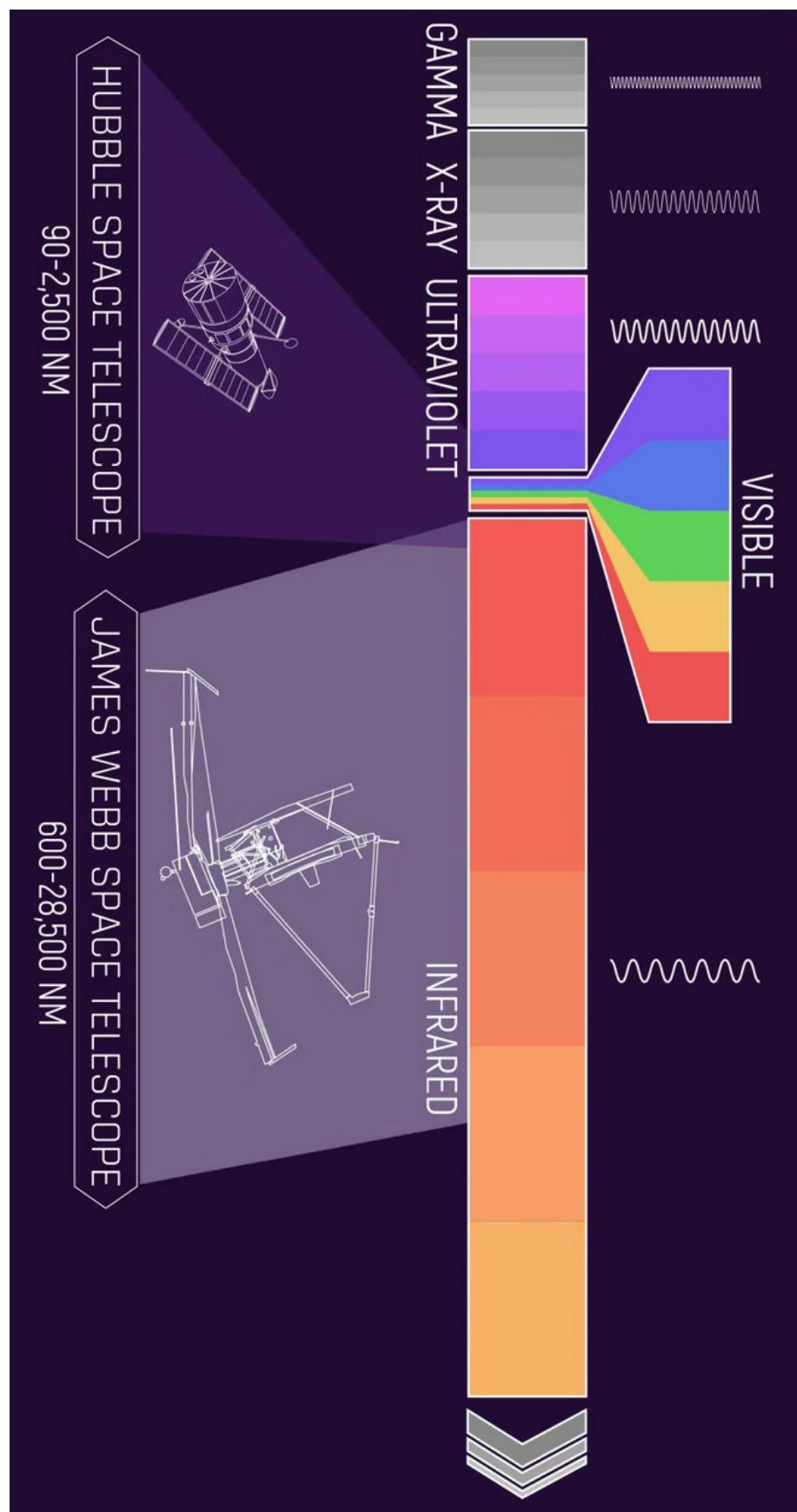


Tabela 9 – Comprimento de Onda
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

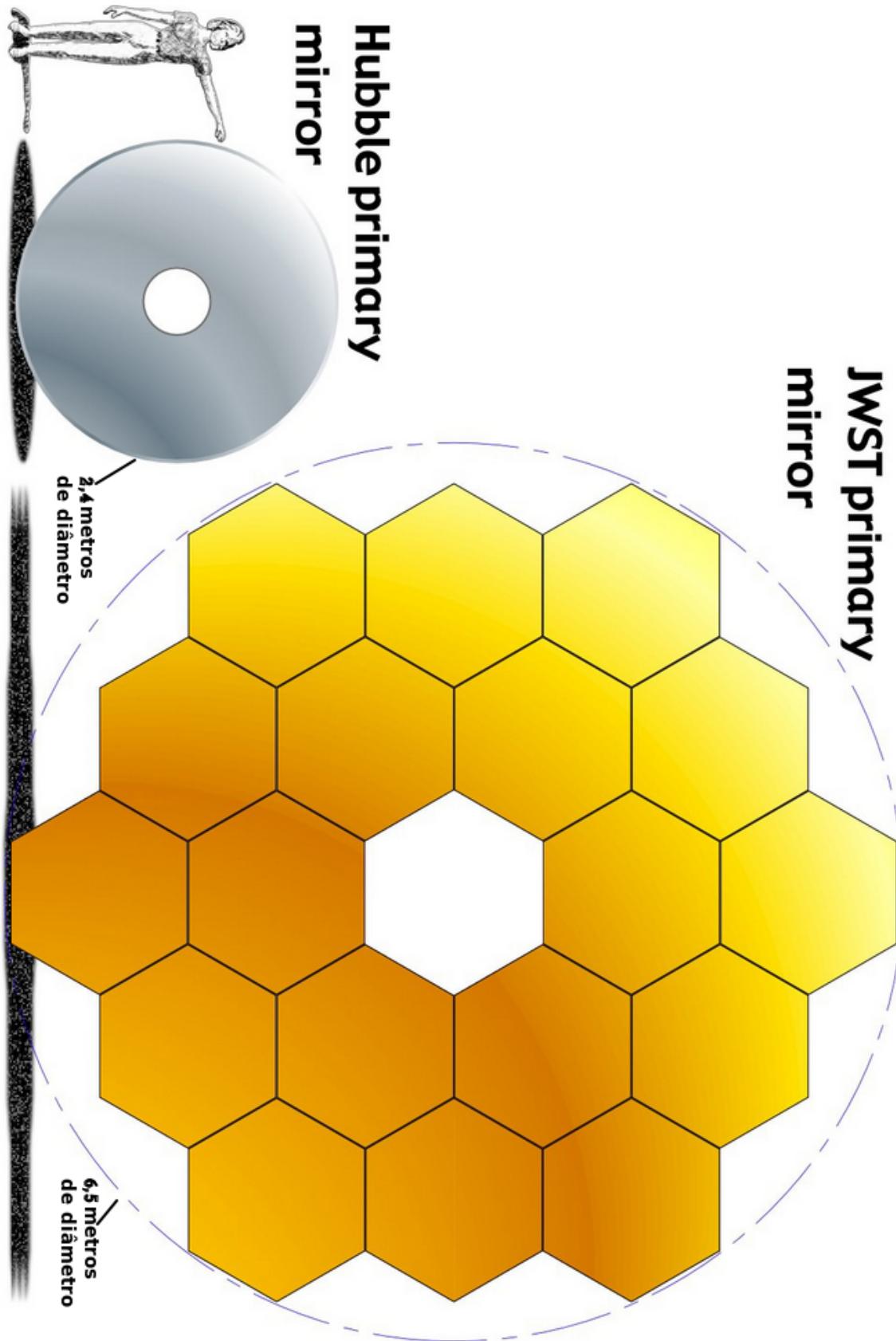


Figura 73 – Espelhos: Hubble x James Webb
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

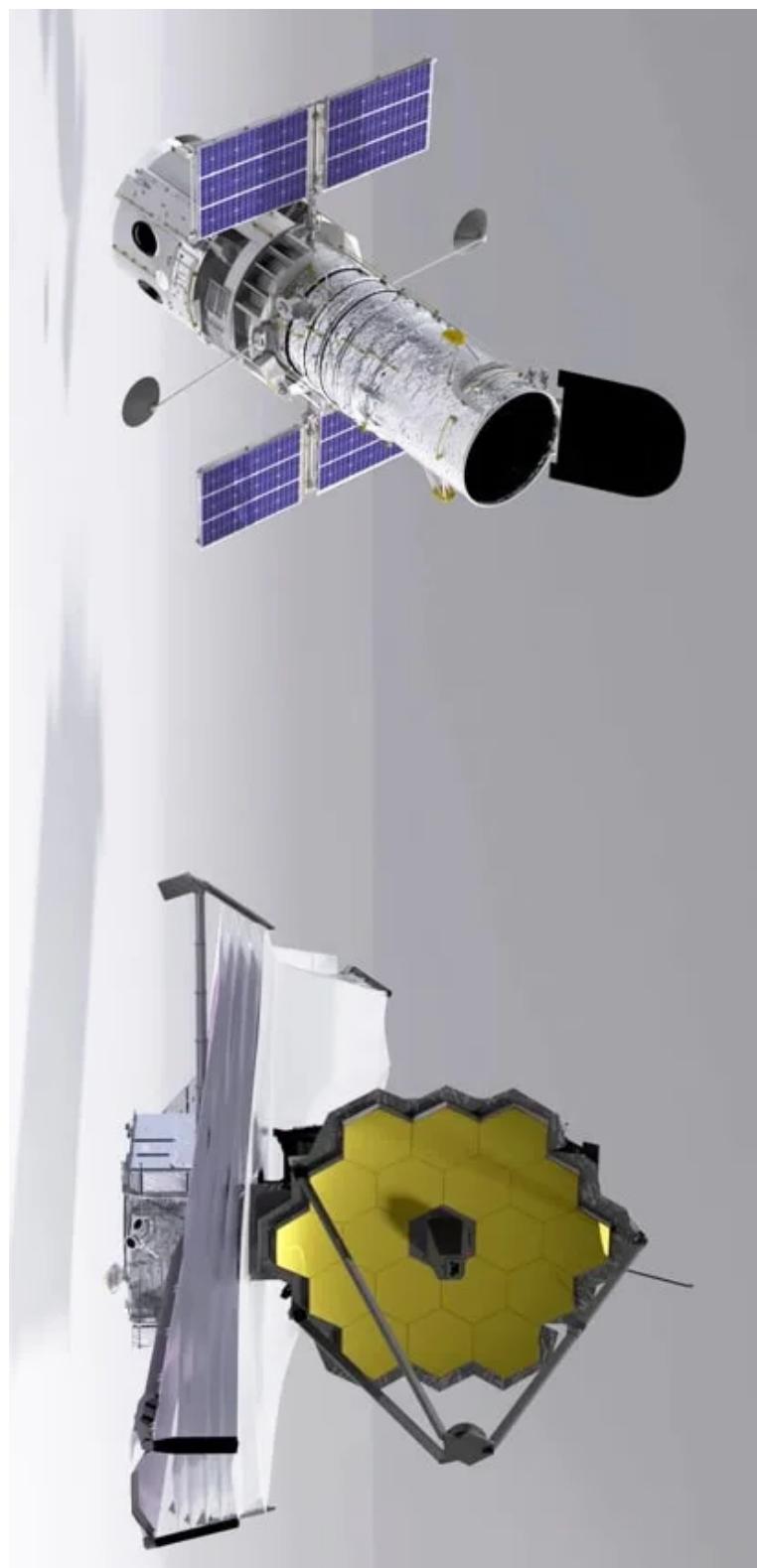


Figura 74 – Hubble X James Webb
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

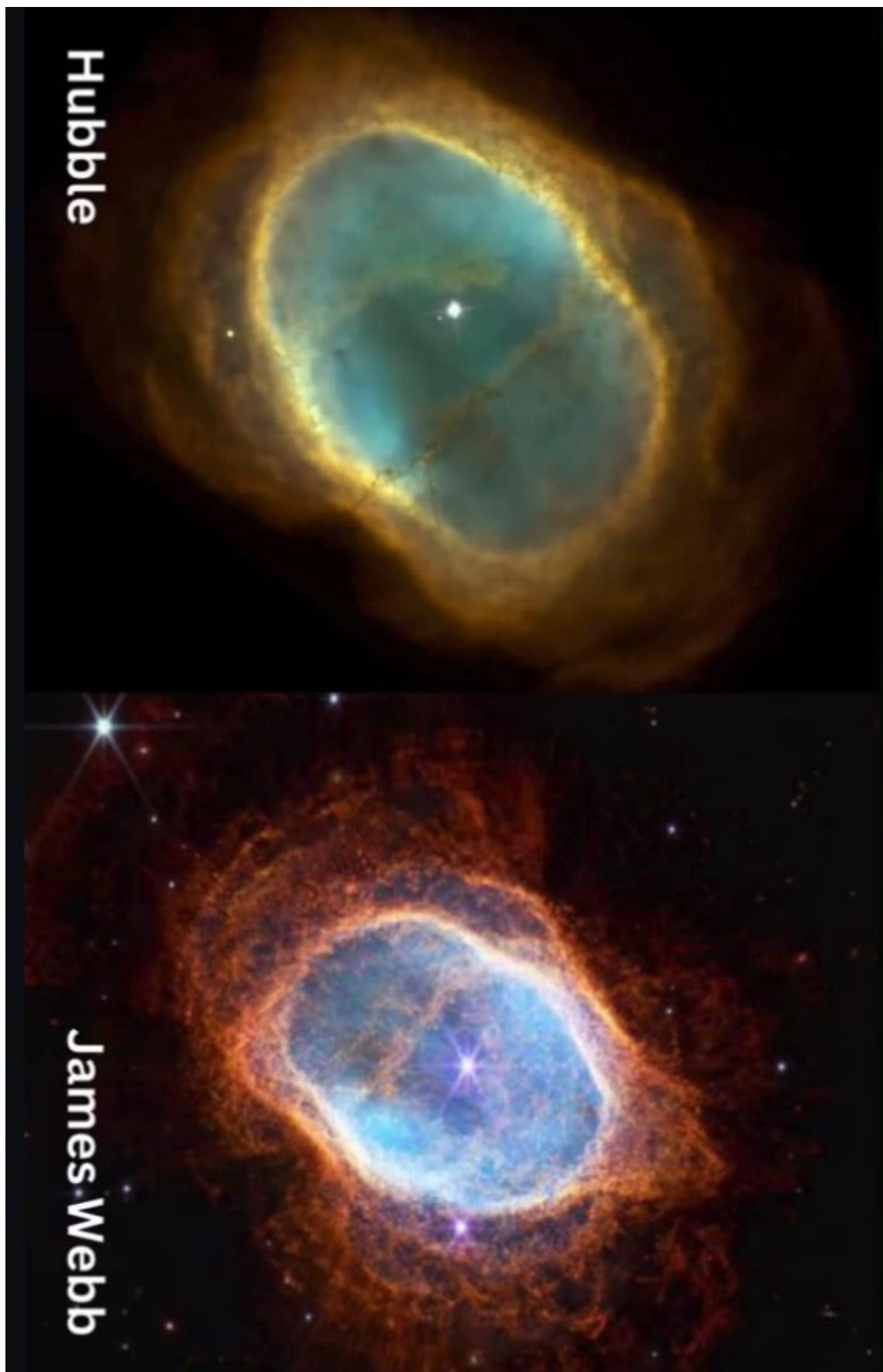


Figura 75 – Nebulosa Anel do Sul
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 76 – Nebulosa Pilares da Criação
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

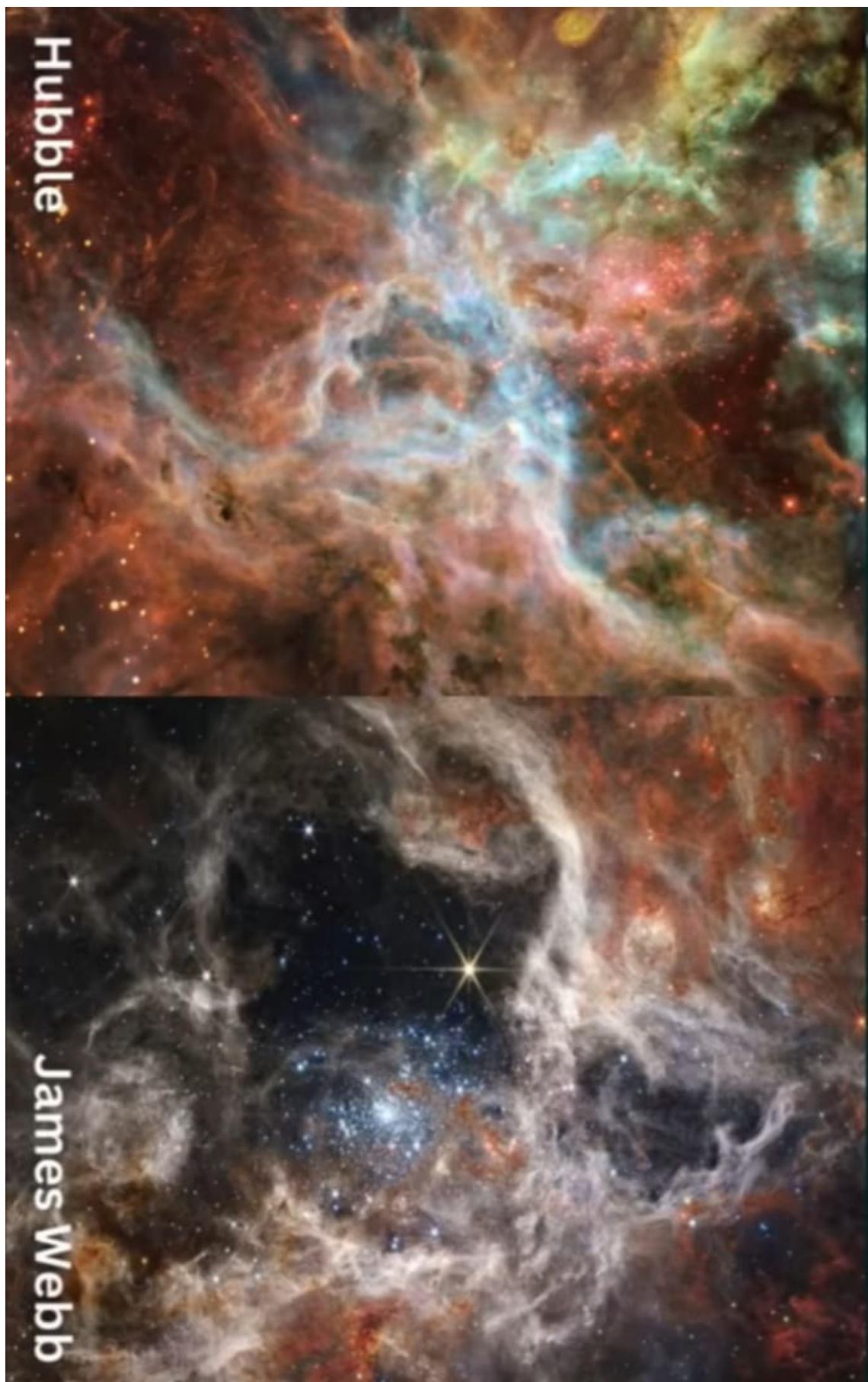


Figura 77 – Nebulosa da Tarântula
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 78 – Nebulosa Carina
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))



Figura 79 – Galáxia Cata-Vento do Sul
Fonte: ([DUNBAR, 2023](#))

6 Considerações Finais

Diante disso, os telescópios são ferramentas importantes para todos os cientistas que desejam trabalhar no estudo do universo. Eles são essenciais para a evolução dos conhecimentos da ciência.

É importante sempre lembrar o quanto muitos nomes renomados foram importantes para ciência ao longo de toda a história da evolução dos telescópios. É graças a esses nomes que obtivemos todas essas descobertas ao longo de décadas. E é assim que vamos continuar a crescer.

Nessa pesquisa, foi mostrado que ao longo de décadas, nomes importantes da ciência, e de estudos científicos, conquistamos muito mais do que esperávamos. Com o desenvolvimento de novas tecnologias e o lançamento de novos telescópios terrestres e espaciais, podemos assim antecipar descobertas impressionantes que irão se adequar ao nosso conhecimento futuro do universo.

Concluindo, que sempre devemos acreditar que todas as perguntas que já existem e que surgirem no futuro, podem ser respondidas pela evolução da ciência através dos telescópios.

Referências

- BETZLER, A. S. O trabalho científico de sr. william herschell. *Revista Macrocosmo*, 2007. Nenhuma citação no texto.
- CASAS, R. L.; MORÃO, D. *Observatório Astromico Frei Rosario - UFMG*. 1999. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<http://xingu.fisica.ufmg.br:8087/oap/public/>>. Citado na página 30.
- DUNBAR, B. *NASA - National Aeronautics and Space Administration: Fomentar o futuro na pesquisa, descoberta e exploração espacial*. 2023. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/>>. Citado 64 vezes nas páginas 21, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91 e 92.
- FERREIRA, M. P. *Observatório Astronomico UNIFAL*. 2024. 4 de janeiro de 2024. Disponível em: <<https://www.unifal-mg.edu.br/portal/>>. Citado na página 24.
- FILHO, S. S. *Telescópios*. 2018. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.telescopiosastronomicos.com.br/>>. Citado 11 vezes nas páginas 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 28 e 29.
- FORCA EVERTON PIZA PEREZ, M. S. V. Q. A. C.; ALVES, V. C. A evolução dos instrumentos de observações astronómica e o contexto histórico-científico. *Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, p. 1–9, 2009. Citado na página 17.
- FRAGA, L. *Observatório do Pico dos Dias*. 2023. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/lna/pt-br>>. Nenhuma citação no texto.
- FRAKNOI, A.; MORRISON, D.; WOLFF, S. C. *Astronomy*. [S.l.]: OpenStax, 2022. (2º Edição). Nenhuma citação no texto.
- GAL, S. *Explorando o desconhecido: Amáquina do tempo Cósmico*. 2023. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.netflix.com/>>. Citado na página 56.
- GOLDSMITH, D. M. *Os cientistas: e seus experimentos de arromba*. [S.l.]: Editora SCHWARCZ S. A., 2009. (9ª reimpressão). ISBN 978-85-359-1144-2. Nenhuma citação no texto.
- LOOS, P. *Ciência Todo Dia: Como a órbita do James Webb funciona?* 2022. 21 de janeiro de 2024. Disponível em: <<https://www.youtube.com/@CienciaTodoDia/featured>>. Citado 2 vezes nas páginas 73 e 74.
- MACINTOSH, B. *Lick Observatory - Astronomy Science and Technology Leader*. 2023. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.lickobservatory.org/>>. Nenhuma citação no texto.
- MATSUDA, R. *Keck Observatory*. 2023. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.keckobservatory.org/>>. Nenhuma citação no texto.

- MEISTERDRUCKE. *A Fábrica de impressões artísticas de alta qualidade*. 2023. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.meisterdrucke.pt/>>. Nenhuma citação no texto.
- NIMAX. Astroshop. *Revista Astroshop*, 2011–2023. Citado na página 18.
- PIONORIO N. RODRIGUES JR, J. J.; BERTUOLA, A. C. Correções da aberração cromática no contexto da óptico geométrico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Sociedade Brasileira de Física, v. 30, 2008. Citado na página 18.
- PIRES, A. S. T. *Evolução das ideias da Física*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2011. (2º Edição). ISBN 978-85-7861-103-3. Nenhuma citação no texto.
- Ré, P. Bernhard schmidt: Óptico e construtor de telescópios. *Pesquisa bibliográfica*, 2020. Nenhuma citação no texto.
- TOLENTINO, V. *Observatório Lunar*. 2011–2023. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://vaztolentino.com/>>. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 24.
- WHALEM, M. *Documento Ufológicos e Afins - Telescópio Hubble*. 2020. 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=qOlgmfb8SLc>>. Citado 5 vezes nas páginas 31, 32, 33, 57 e 59.