



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E HUMANIDADES
GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

**O TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB: FÍSICA E POSSIBILIDADES
DIDÁTICAS PARA O ENSINO MÉDIO**

MARCOS PAULO CORREIA DE CARVALHO GOMEZ

GOIÂNIA

2025

MARCOS PAULO CORREIA DE CARVALHO GOMEZ

**O TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB: FÍSICA E POSSIBILIDADES
DIDÁTICAS PARA O ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Licenciatura Plena em Física da
Pontifícia Universidade Católica de Goiás,
como requisito parcial para a obtenção do grau
de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Me. Clebes André da Silva.

GOIÂNIA

2025

MARCOS PAULO CORREIA DE CARVALHO GOMEZ

O TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB: FÍSICA E POSSIBILIDADES DIDÁTICAS
PARA O ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso julgado adequado para obtenção do título de Licenciatura Plena em Física e aprovado em sua forma final pela Escola de Formação de Professores e Humanidades da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em ____/ ____/____.

Banca Examinadora:

Orientador: Prof. Me. Clebes André da Silva

Prof. Me. Gean Henrique Godoi
Secretaria Estadual de Educação de Goiás

Prof. Dr. Anderson Costa da Silva
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

GOIÂNIA
2025

	PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS ESCOLA DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E HUMANIDADES CURSO DE LICENCIATURA em FÍSICA
---	--

Ata de Defesa Pública do Trabalho de Conclusão de Curso

Ao nono primeiro dia do mês de dezembro de 2025, às 20:00 horas, em sessão pública na sala Multiuso 02 do Bloco A da Área 6 da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor Me Clebes André da Silva, e composta pelos examinadores:

1. Membro externo: Me. Gean Henrique Godoi
2. Membro interno: Dr. Anderson da Costa Silva

O estudante **MARCOS PAULO CORREIA DE CARVALHO GOMEZ**, apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso II intitulado:

O TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB: FÍSICA E POSSIBILIDADES DIDÁTICAS PARA O ENSINO MÉDIO

como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Licenciatura em Física. Após reunião em sessão reservada, a Banca Examinadora deliberou e decidiu pela **APROVAÇÃO** do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao estudante e demais presentes.

Na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que segue assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo estudante. Fica formalmente definido que a nota final será registrada somente após a correção e entrega da versão final do trabalho, dentro das normas exigidas pelo Curso e pela PUC Goiás.

 Documento assinado digitalmente
CLEBES ANDRÉ DA SILVA
 Data: 10/12/2025 07:49:59-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Presidente da Banca Examinadora:
Orientador: Prof. Me Clebes André da Silva

 Documento assinado digitalmente
GEAN HENRIQUE GODOI
 Data: 09/12/2025 23:36:44-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membro externo
Profa. Me. Gean Henrique Godoi

 Documento assinado digitalmente
ANDERSON COSTA DA SILVA
 Data: 10/12/2025 14:13:58-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membro interno
Prof. Dr. Anderson da Costa Silva

 Documento assinado digitalmente
MARCOS PAULO CORREIA DE CARVALHO GOMEZ
 Data: 10/12/2025 14:53:43-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Acadêmico
MARCOS PAULO CORREIA DE CARVALHO GOMEZ

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Márcia Carvalho, pela dedicação incansável, por todas as lutas que enfrentou e pelo incentivo constante para que eu levasse os estudos a sério, acreditando que a educação poderia transformar nossas vidas. À minha avó, Marina Carvalho, cujo apoio ao longo desses quatro anos foi essencial. E à minha irmã, Ana Sarah Carvalho, na esperança de inspirá-la a seguir seus próprios caminhos de estudo e mostrar que, com esforço e persistência, é possível alcançar nossos sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pela saúde e pela capacidade de aprender. É um privilégio poder conhecer, estudar e transformar a própria história por meio do conhecimento.

À minha família, pelo incentivo contínuo e pela confiança depositada em mim ao longo desta caminhada. Espero honrar suas expectativas e retribuir todo o apoio recebido.

Aos meus amigos, que tornaram o percurso mais leve e possível. Agradeço à Letícia e ao Marco Túlio, cujo apoio, inclusive financeiro em momentos difíceis foi essencial. À Larissa, pela convivência, pelas conversas e pelo acolhimento constante durante o período em que trabalhamos juntos. Aos meus amigos de Anápolis, Filipe, Diego, Müller e, em especial, Rodovalho, pelo suporte e amizade, essenciais para que esta jornada fosse concluída. Agradeço também ao Moisés, que foi o primeiro a me incentivar a mudar para Goiânia e iniciar minha formação, mostrando que nunca é tarde para começar, mesmo com o desafio de se graduar aos 33 anos.

Ao meu orientador, Prof. Me. Clebes André da Silva, agradeço profundamente pela orientação dedicada durante todo o processo de construção deste trabalho. Mais do que revisar textos, o professor me motivou, aconselhou e abriu caminhos por meio de artigos, eventos científicos e oportunidades acadêmicas. Sua confiança em meu potencial foi decisiva para meu crescimento.

Agradeço ao professor e coordenador do curso Dr. Anderson da Costa Silva, pela motivação constante e pelo incentivo ao estudo rigoroso, especialmente nos fundamentos teóricos, cuja habilidade e inteligência admiro profundamente.

À Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO) e à Escola de Formação de Professores e Humanidades (EFPH), por representarem a realização de um sonho. Vindo da periferia do interior do estado, formar-me em uma instituição de prestígio é uma conquista que levarei para toda a vida.

Aos meus colegas de turma, Floriano, Railson, Emerson, Antônio e Alvino, agradeço a parceria, pelas risadas e pelas longas jornadas de estudo que tornaram a caminhada mais leve e alegre.

Ao Colégio Estadual José Lobo, pela acolhida durante dois anos de estágio e pela abertura para a realização da intervenção pedagógica deste TCC. Agradeço especialmente aos estudantes do 2º ano A, que me receberam com entusiasmo e participaram ativamente das atividades propostas.

Por fim, agradeço a CAPES, pelo apoio oferecido no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), que representou não apenas um contato profundo com a realidade da docência, mas também um apoio fundamental por meio da bolsa, que contribuiu para a permanência e continuidade da minha formação.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso investiga os princípios físicos que possibilitam o funcionamento do Telescópio Espacial James Webb (JWST), destacando seus fundamentos ópticos, térmicos e orbitais. A pesquisa apresenta uma revisão teórica que abrange desde a mecânica celeste dos Pontos de Lagrange até a radiação de corpo negro e a operação dos instrumentos científicos que compõem o observatório. Paralelamente, discute-se a relevância do infravermelho para a observação de objetos frios, galáxias distantes e fenômenos do Universo primitivo, evidenciando avanços do JWST em relação a telescópios anteriores, como Hubble e Spitzer. Além da fundamentação científica, o trabalho desenvolve uma proposta pedagógica voltada ao Ensino Médio, estruturada em três aulas que exploram imagens reais, comparações entre telescópios, experimentações simples e cálculos envolvendo distância e velocidade da luz. A sequência didática é fundamentada na BNCC e busca promover uma aprendizagem significativa, utilizando recursos visuais e analogias conceituais para aproximar a astrofísica do cotidiano do estudante. A aplicação da proposta resultou em boa compreensão dos conceitos básicos relacionados ao espectro eletromagnético, ao infravermelho e ao funcionamento dos telescópios, conforme demonstrado pelos questionários e pela participação ativa dos estudantes. Por fim, o trabalho culmina em uma proposta de sequência didática alinhada à BNCC, demonstrando como o fascínio pelo JWST pode ser utilizado para introduzir conceitos de física.

Palavras-chaves: Telescópio Espacial James Webb; Infravermelho; Ensino de Física; Astrofísica; JWST.

ABSTRACT

This undergraduate thesis investigates the physical principles that enable the operation of the James Webb Space Telescope (JWST), highlighting its optical, thermal, and orbital fundamentals. The research presents a theoretical review covering everything from celestial mechanics of Lagrange points to blackbody radiation and the operation of the scientific instruments that make up the observatory. In parallel, it discusses the relevance of infrared radiation for observing cold objects, distant galaxies, and phenomena of the early Universe, highlighting the advancements of the JWST compared to previous telescopes such as Hubble and Spitzer. Beyond the scientific foundation, the work develops a pedagogical proposal aimed at high school students, structured in three lessons that explore real images, comparisons between telescopes, simple experiments, and calculations involving distance and the speed of light. The teaching sequence is based on the Brazilian National Curriculum (BNCC) and seeks to promote meaningful learning, using visual resources and conceptual analogies to connect astrophysics to the student's daily life. The application of the proposal resulted in a good understanding of the basic concepts related to the electromagnetic spectrum, infrared radiation, and the functioning of telescopes, as demonstrated by the questionnaires and the active participation of the students. Finally, the work culminates in a proposed teaching sequence aligned with the BNCC (Brazilian National Curriculum Base), demonstrating how the fascination with JWST (Jet-Wide Telescope Science) can be used to introduce physics concepts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Radiotelescópio de Arecibo, Porto Rico.....	16
Figura 2: Lyman Spitzer	16
Figura 3: Telescópio Espacial Hubble.....	17
Figura 4: Telescópio Espacial James Webb (JWST).....	18
Figura 5: James Edwin Webb	18
Figura 6: Descrição dos componentes do JWST	20
Figura 7: Pontos de Lagrange no sistema SOL-TERRA.....	21
Figura 8: Movimento orbital do JWST.....	22
Figura 9: Pontos L1 e L2 no sistema SOL-TERRA	23
Figura 10: Órbita de Halo	24
Figura 11: Protetor Solar do JWST.....	25
Figura 12: ISIM – Módulo de Instrumentos Científicos Integrados.....	26
Figura 13: Componentes do ISIM	27
Figura 14: Espelhos do JWST.....	28
Figura 15: Configuração final dos espelhos do JWST.....	29
Figura 16: Região de operação do JWST em relação ao Hubble e Spitzer.....	30
Figura 17: Gráfico Curva de Corpo Negro	31
Figura 18: Disco Protoplanetário.....	33
Figura 19: Fluxograma	36
Figura 20: Respostas livres feita pelos alunos no questionário.	46
Figura 21: Questão 6 do questionário.....	47
Figura 22: Questão 7 do questionário.....	48
Figura 23: Imagens da aula 1	54
Figura 24: Imagens aula 1	55
Figura 26: Imagens aula 2	55
Figura 25: Imagens aula 2	55
Figura 27: Imagens aula 3	56
Figura 28: Imagens aula 3	56
Figura 29: Imagens aula 3	57

LISTA DE ABREVIACÕES

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

EM – Ensino Médio

FGS – Fine Guidance Sensor (Sensor de Guiagem Fina)

IA – Inteligência Artificial

ISIM – Integrated Science Instrument Module (Módulo Integrado de Instrumentos Científicos)

JWST – James Webb Space Telescope (Telescópio Espacial James Webb)

L1, L2, L3, L4, L5 – Pontos de Lagrange no sistema Sol–Terra

MIRI – Mid-Infrared Instrument (Instrumento de Infravermelho Médio)

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NIRCam – Near-Infrared Camera (Câmera de Infravermelho Próximo)

NIRISS – Near-Infrared Imager and Slitless Spectrograph (Imagem e Espectrógrafo Sem Fenda no Infravermelho Próximo)

NIRSpec – Near-Infrared Spectrograph (Espectrógrafo de Infravermelho Próximo)

OAo – Orbiting Astronomical Observatory (Observatório Astronômico Orbital)

OTE – Optical Telescope Element (Elemento do Telescópio Óptico)

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo geral	13
2.2. Objetivo específicos.....	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1. A jornada da observação astronômica	14
3.2. Telescópios espaciais	15
3.3. Telescópio Espacial HUBBLE	17
3.4. O telescópio espacial JAMES WEBB	17
3.5. James Edwin Webb.....	18
3.6. Duração da missão do JWST	19
3.7. Aspectos físicos e tecnológicos do JWST	19
3.8. Ponto de LAGRANGE L2	20
3.9. O cálculo dos pontos de LAGRANGE	22
3.10. Escudo solar	25
3.11. Instrumentos do JWST.....	26
3.12. Óptica, engenharia e região de operação do JWST	28
3.13. A observação no infravermelho pelo JWST	30
3.15. Lei de Planck e radiação de corpo negro	31
3.16. Observação de objetos frios e discos protoplanetários	33
3.17. Como as observações do JWST se tornam imagens?	34
4. METODOLOGIA.....	36
4.1. Etapa 1: Pesquisa teórica e síntese conceitual	36
4.2. Etapa 2: Desenvolvimento do produto educacional	37
4.3. Etapa 3: Aplicação e análise de resultados	37
5. SEQUÊNCIA DIDÁTICA	39
5.1. Informações gerais	39
5.2. A BNCC como aliada	40
5.3. A Sequência Didática.....	40
6. RESULTADOS	45
6.1 Compreensão dos conceitos abordados	45

6.2 Impacto das atividades práticas	45
6.3 Síntese dos resultados	46
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
8. REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE A	53
Questionário.....	53
APÊNDICE B.....	54

1. INTRODUÇÃO

A compreensão do Universo sempre despertou fascínio na humanidade, e os avanços tecnológicos recentes têm ampliado ainda mais nossa capacidade de explorá-lo. Apesar do impacto midiático, a NASA (2024) enfatiza que os objetivos do James Webb Space Telescope (JWST) vão além de produzir imagens de grande apelo visual: o telescópio foi concebido para detectar algumas das primeiras formações estelares do Universo, bem como observar planetas em nosso Sistema Solar e exoplanetas em órbita de outras estrelas. Nesse contexto, Kalirai (2018), descreve detalhadamente os instrumentos que compõem o JWST, destacando avanços em relação a telescópios anteriores, como Hubble e Spitzer, em aspectos como posição orbital, uso da radiação infravermelha, espelhos e camadas de proteção solar.

A relevância do tema também se relaciona com a necessidade de aproximar a ciência da sociedade (Santos; Müller, 2022). Conhecimentos científicos impactam diretamente o cotidiano social, como ilustra o uso do GPS, cujo funcionamento depende de correções relativísticas para garantir sua precisão (Ashby, 2003), e o JWST representa um exemplo notável de inovação tecnológica e contribuição para a compreensão do Universo (Kalirai, 2018).

Desta forma, o presente trabalho não se limita a descrever tecnicamente um instrumento científico. Seu objetivo central é investigar como a complexa física do James Webb que envolve desde a mecânica orbital dos Pontos de Lagrange até a termodinâmica de corpos negros pode ser traduzida para a sala de aula. Buscamos responder: como transformar uma maravilha da engenharia, que orbita a 1,5 milhão de quilômetros da Terra, em um conhecimento próximo e instigante para o aluno do Ensino Médio? A resposta passa pela construção de uma ponte didática onde a curiosidade visual serve de convite para o rigor conceitual.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Investigar os princípios físicos que fundamentam o funcionamento do Telescópio Espacial James Webb e desenvolver uma proposta pedagógica para o Ensino Médio que utilize o telescópio como ferramenta motivadora no ensino de física moderna.

2.2. Objetivo específicos

- Analisar os fundamentos físicos e tecnológicos do JWST, incluindo óptica, termodinâmica e mecânica orbital.
- Relacionar conceitos de física moderna com as capacidades observacionais do telescópio.
- Desenvolver e aplicar uma sequência didática que utilize o JWST como contexto para o ensino de espectro eletromagnético, radiação térmica e cosmologia.
- Avaliar a eficácia da abordagem proposta na compreensão conceitual e no interesse dos estudantes.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para analisar o Telescópio Espacial James Webb (JWST) não apenas como um feito de engenharia, mas como um instrumento científico profundamente enraizado nos pilares da Física, é imprescindível revisitar a evolução do pensamento e da tecnologia que tornaram sua concepção possível. Esta fundamentação teórica não se limitará a uma descrição técnica do telescópio; ela buscará construir a ponte conceitual entre os fenômenos físicos e as inovações tecnológicas, criando o embasamento necessário para a posterior transposição didática.

3.1. A jornada da observação astronômica

A história da astronomia é uma narrativa contínua sobre a ampliação dos nossos sentidos. Desde as primeiras observações a olho nu, a humanidade buscou construir instrumentos que permitissem ver mais longe, com mais detalhes e em cores que nossos olhos não conseguem perceber. O Telescópio Espacial James Webb representa o capítulo mais recente dessa jornada, marcando a transição definitiva da astronomia do visível para a era do infravermelho.

O marco inicial dessa revolução observacional é atribuído a Galileu Galilei, que no século XVII apontou um telescópio para o céu, revelando um universo repleto de detalhes até então invisíveis: as crateras da Lua, os satélites de Júpiter e as fases de Vênus. Nos séculos seguintes, telescópios cada vez maiores e mais precisos aprofundaram nosso conhecimento do cosmos, mas sempre esbarrando em um limite fundamental: a atmosfera terrestre.

A atmosfera atua como um filtro turbulento, distorcendo e absorvendo uma parcela significativa da radiação eletromagnética que chega do espaço. Especificamente, bloqueia quase totalmente radiações como os raios X, a maior parte do ultravioleta e, crucial para o JWST, uma vasta faixa do infravermelho. A ideia de colocar um telescópio acima dessa barreira natural foi pioneiramente proposta pelo físico Hermann Oberth em 1923 e décadas depois, vigorosamente defendida pelo astrofísico Lyman Spitzer (1946), que demonstrou as vantagens científicas incontestáveis de um observatório no vácuo espacial.

Essa visão culminou no lançamento do Telescópio Espacial Hubble (HST) em 1990. O Hubble, operando principalmente no ultravioleta, visível e uma pequena parcela do infravermelho próximo, revolucionou a astronomia. Ele não apenas forneceu imagens de precisão sem precedentes, mas suas descobertas como a aceleração da expansão do universo redefiniram nossa compreensão cosmológica.

No entanto, o Hubble possuía limitações intrínsecas para observar o universo profundo e frio. Para investigar as primeiras galáxias, cuja luz foi esticada para o infravermelho pela expansão do universo (o redshift cosmológico), ou para estudar a formação de estrelas e planetas no interior de nuvens de poeira cósmica (que absorvem a luz visível, mas são transparentes ao infravermelho), era necessário um telescópio otimizado para esse regime de luz invisível.

Foi nesse contexto que, ainda durante o desenvolvimento do Hubble, a comunidade científica começou a idealizar seu sucessor. O Telescópio Espacial Spitzer, lançado em 2003, foi um pioneiro especializado em astronomia infravermelha e demonstrou o poder dessa janela observacional. O James Webb Space Telescope é, portanto, a evolução direta e o ápice desse processo. Ele foi concebido desde o início para ser um observatório de infravermelho, incorporando as lições aprendidas com o Hubble e o Spitzer, mas com um salto tecnológico quantitativo: um espelho primário muito maior (6,5m contra 2,4m do Hubble) e um sistema de resfriamento passivo que lhe permite operar a temperaturas criogénicas, essenciais para a detecção de sinais infravermelhos extremamente fracos.

Portanto, compreender o JWST exige reconhecer que ele não é meramente um Hubble melhorado. Ele é uma ferramenta fundamentalmente diferente, projetada para responder a um conjunto distinto de questões científicas, abrindo uma nova janela para o universo e dando continuidade à milenar jornada humana de expandir os limites da observação.

3.2. Telescópios espaciais

A construção de telescópios voltados à observação científica do universo começou no início do século XVII, com Galileu Galilei, e evoluiu rapidamente com os avanços em óptica e engenharia. Nos séculos seguintes, instrumentos cada vez maiores e precisos foram desenvolvidos, culminando no século XX com o uso de espelhos de grandes dimensões. Alguns telescópios tiveram muito destaque como o Hale que tinha 200 polegadas, cerca de 5,1 metros, do Observatório do Monte Palomar (San Diego, Estados Unidos) e o Observatório de Arecibo (Arecibo, Porto Rico), um radiotelescópio de prato único com 305 metros de diâmetros ilustrado na Figura 1, em 2020 acabou desabando por danos estruturais, mas, deixou um grande impacto no estudo do espaço (Kalirai, 2017).

Figura 1: Radiotelescópio de Arecibo, Porto Rico



Fonte: El País

Embora tivesse diversas tecnologias para a observação espacial, havia muitas dificuldades como a própria atmosfera terrestre que atua como um filtro que distorce e absorve parte dos raios eletromagnéticos provenientes do cosmos. A ideia de colocar um telescópio fora da atmosfera surgiu em 1923, quando o físico alemão Hermann Oberth sugeriu que um observatório poderia ser lançado por foguete e operar em órbita. Décadas depois, em 1946, o astrofísico Lyman Spitzer (Figura 2) reforçou essa proposta ao demonstrar as vantagens científicas de um observatório espacial, estabelecendo as bases conceituais que levariam à criação dos primeiros telescópios orbitais como a série de telescópios da missão do Observatório Astronômico Orbital (OAO), Orion-1 da União Soviética e posteriormente os famosos Telescópio Espacial Spitzer e o Telescópio Espacial Hubble (NASA, 2023).

Figura 2: Lyman Spitzer



Fonte: NASA

3.3. Telescópio Espacial HUBBLE

Edwin Hubble, astrônomo cujo nome foi dado ao Telescópio Espacial Hubble (Figura 3), demonstrou que existem galáxias além da Via Láctea e classificou essas galáxias por suas formas, contribuindo decisivamente para a cosmologia moderna. O Hubble, lançado em 1990, concretizou as visões de Oberth, Spitzer e de muitos cientistas que buscavam ultrapassar as limitações da observação terrestre. Graças a ele, foi possível obter imagens de extrema resolução em ultravioleta, visível e uma pequena parte do infravermelho próximo (Figura 11), permitindo estudar galáxias distantes, o ciclo de vida das estrelas, buracos negros galácticos e muitos outros fenômenos. Seu impacto na astrofísica tem sido transformador, tanto em termos de descobertas científicas quanto de como se concebe o universo e sua estrutura. Mas, apesar do enorme sucesso do Hubble, havia limitações em relação à observação em infravermelho. (NASA, 2025).

Figura 3: Telescópio Espacial Hubble



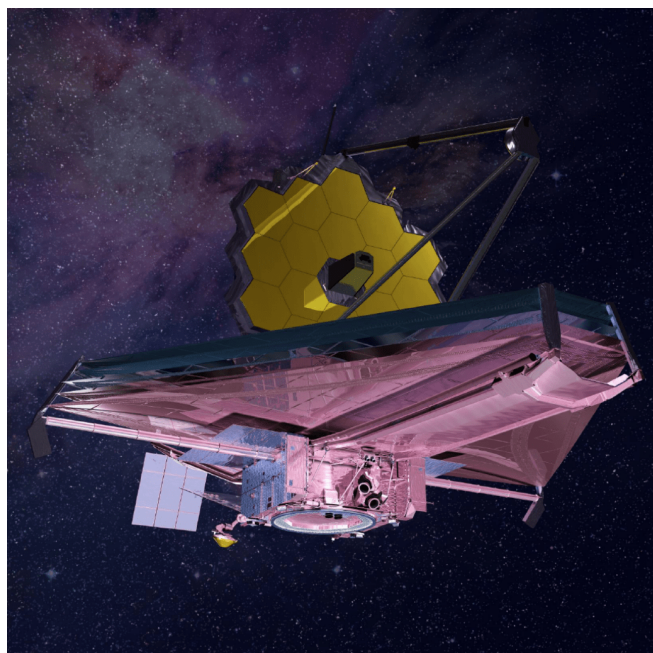
Fonte: Getty Images

3.4. O telescópio espacial JAMES WEBB

O Telescópio Espacial James Webb (JWST) ilustrado na Figura 4 começou a ser idealizado em 1989, quando cientistas da NASA e do Instituto de Ciência do Telescópio Espacial discutiram a necessidade de um sucessor ainda antes do lançamento do Hubble. A proposta se justificava porque o Hubble foi projetado para observações principalmente em luz ultravioleta e visível, enquanto a nova geração deveria ser otimizada para o infravermelho, capaz de responder a perguntas diferentes sobre o universo. Na década de 1990, consolidou-se a proposta do chamado Telescópio Espacial de Próxima Geração, com um espelho de mais de

quatro metros. A partir daí, o projeto avançou com a colaboração de centros da NASA, parceiros internacionais, indústria e comunidade acadêmica, culminando na construção em 2004 e em anos de integração e testes que levaram ao lançamento em 2021, na Guiana Francesa (NASA, 2025).

Figura 4: Telescópio Espacial James Webb (JWST)



Fonte: NASA

3.5. James Edwin Webb

James Edwin Webb, nascido em 1906 na Carolina do Norte (Figura 5), foi o segundo administrador da NASA e desempenhou um papel decisivo na consolidação da agência durante a década de 1960. Embora não tivesse formação científica, sua habilidade administrativa e influência política possibilitaram avanços expressivos na exploração espacial, especialmente no desenvolvimento do programa Apollo. Sua gestão estabeleceu as bases para o sucesso das

Figura 5: James Edwin



Fonte: Oklahoma Hof

missões tripuladas e para o fortalecimento da pesquisa astronômica, razão pela qual o Telescópio Espacial James Webb recebeu seu nome em reconhecimento à sua contribuição histórica para a ciência e a tecnologia espacial.

3.6. Duração da missão do JWST

O Telescópio Espacial James Webb (JWST) foi projetado para uma missão nominal de 5 anos, com meta de 10 anos de operação científica, segundo a NASA (2022). Após o lançamento, análises operacionais mostraram que o observatório dispõe de propelente¹ suficiente para sustentar suas atividades por mais de 20 anos, embora a duração efetiva dependa também da integridade de seus subsistemas e da degradação causada pelo ambiente espacial (NASA, 2022). Já o Telescópio Espacial Hubble, predecessor do Webb, permanece ativo e continuará a produzir ciência enquanto seus componentes permitirem, uma vez que não existe desligamento automático em razão da entrada em operação do JWST. A eventual desativação do Hubble será definida conforme sua condição operacional e critérios de segurança estabelecidos pela agência espacial (NASA, 2021).

3.7. Aspectos físicos e tecnológicos do JWST

O Telescópio Espacial James Webb foi desenvolvido com várias tecnologias responsáveis pelo sucesso da missão, inclusive a sua posição foi estrategicamente calculada para que o telescópio espacial tenha uma maior vida útil, devido a degradação espacial. Como não é a proposta deste trabalho dissecar todos os aspectos tecnológicos do JWST, será pontuado abaixo os pontos pertinentes para compreender a física envolvida no maior telescópio espacial até o momento.

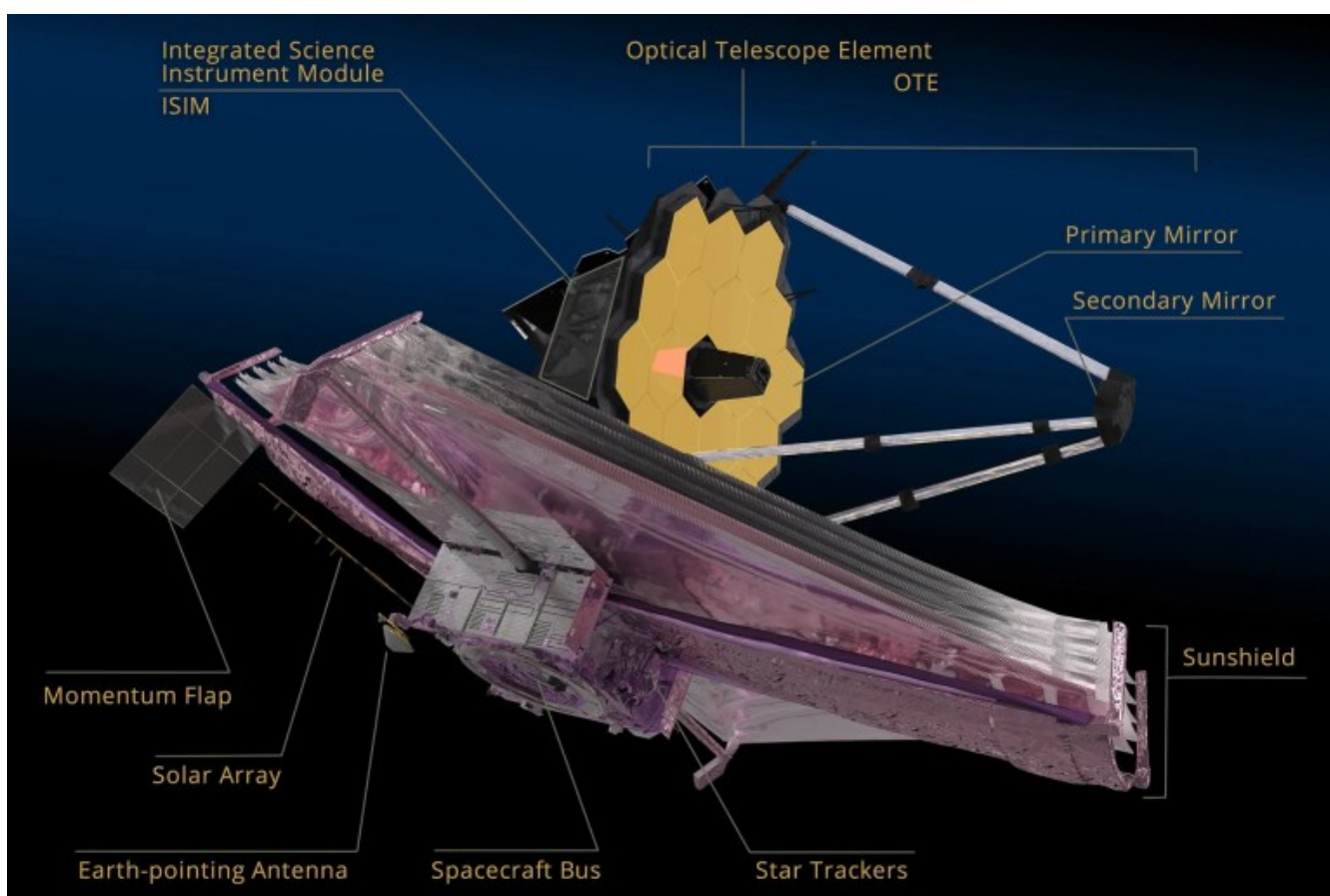
O JWST é composto por vários componentes, conforme descrito na Figura 6. Entre eles está o Módulo de Instrumentos Científicos Integrados (Integrated Science Instrument Module – ISIM), responsável por abrigar os instrumentos científicos que captam e analisam a radiação. Também integra o sistema o Elemento do Telescópio Óptico (Optical Telescope Element – OTE), que contém o conjunto de espelhos responsáveis por focalizar a luz, incluindo o Espelho Primário (Primary Mirror), formado por 18 segmentos hexagonais que coletam a luz

¹ Combustível utilizado em manobras orbitais, e no caso do JWST é usado para manter a órbita do Ponto de Lagrange L2

proveniente do universo, e o Espelho Secundário (Secondary Mirror), que redireciona essa luz para os instrumentos científicos.

Outros componentes essenciais incluem o Escudo Solar (Sunshield), que protege o telescópio da radiação e do calor do Sol ao manter os instrumentos em temperaturas extremamente baixas; a Placa de Propulsão (Momentum Flap), utilizada para estabilizar a orientação da estrutura; o Pannel Solar (Solar Array), responsável por fornecer energia elétrica ao sistema; e a Antena de Ponto para a Terra (Earth-pointing Antenna), que garante a comunicação com as estações terrestres. Além disso, o Barramento da Nave Espacial (Spacecraft Bus) abriga sistemas de controle, energia e suporte da missão, enquanto os Rastreadores Estelares (Star Trackers) asseguram o apontamento preciso do telescópio ao longo das observações.

Figura 6: Descrição dos componentes do JWST



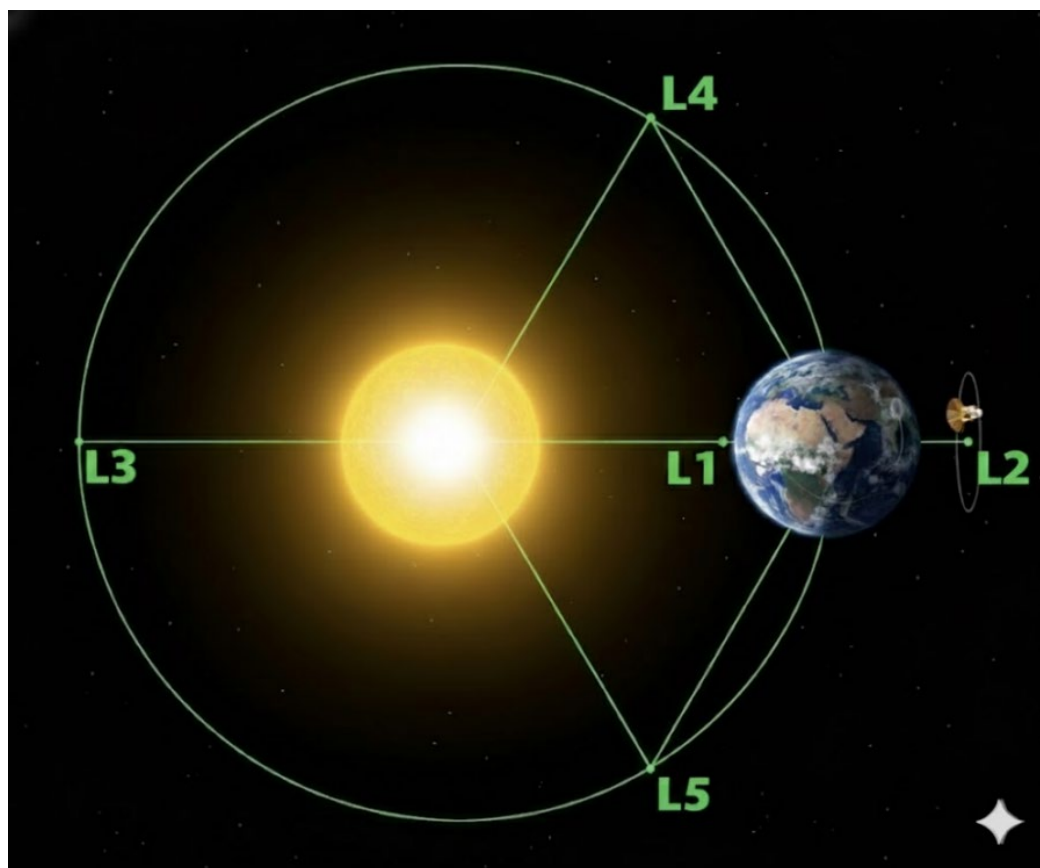
Fonte: NASA

3.8. Ponto de LAGRANGE L2

Os pontos de Lagrange na Figura 7 são lugares do espaço onde as forças gravitacionais se equilibram com o efeito centrífugo do movimento. Em outras palavras, são regiões em que

um objeto muito menos massivo (como um satélite ou telescópio) pode acompanhar os dois corpos maiores sem gastar tanta energia para se manter ali (Howell, 1984). No sistema Sol–Terra existem cinco desses pontos: L1, L2, L3, L4 e L5 conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Pontos de Lagrange no sistema SOL-TERRA



Fonte: Elaborado pelo autor

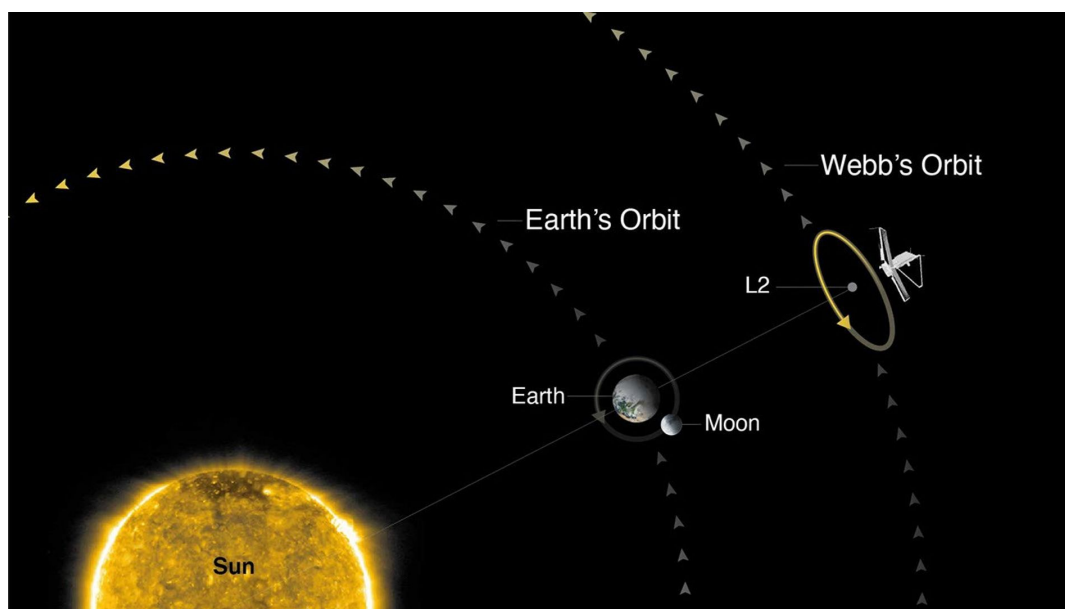
Os pontos L1, L2 e L3 ficam alinhados com o Sol e a Terra e funcionam como um tipo de balanço instável qualquer perturbação pode tirar o objeto da posição. O L1 está entre a Terra e o Sol. O L2 fica do outro lado da Terra, cerca de 1,5 milhão de quilômetros distante. O L3 está do lado oposto do Sol, na mesma órbita da Terra.

Como observado na Figura 7 os pontos L4 e L5 formam triângulos equiláteros com o Sol e a Terra, a 60° à frente e atrás do planeta. Por serem mais estáveis, funcionam como depósitos naturais de pequenos corpos, os chamados asteroides troianos (Southworth, 2023).

Uma característica importante é que todos os pontos de Lagrange do sistema Sol–Terra giram junto com a Terra ao redor do Sol: um objeto colocado nessas regiões não orbita a Terra, mas orbita o Sol acompanhando o planeta, mantendo praticamente a velocidade orbital e completando uma volta em cerca de um ano.

Apesar de L4 e L5 serem estáveis, nessas regiões há risco maior de colisão com asteroides e a geometria não favorece o uso do escudo solar. O L3 também não é viável, pois além de instável está diretamente exposto à radiação solar. O ponto L1 está na mesma distância do L2 conforme demonstrado na Figura 8, porém o ponto de Lagrange L1 está totalmente exposto a radiação solar o que acaba sendo inviável. Por isso, o L2 foi escolhido para o JWST. Ele garante uma posição em que o Sol, a Terra e a Lua ficam aproximadamente na mesma direção, facilitando a proteção dos instrumentos com o escudo solar e permitindo observações do espaço profundo sem interferência. Como contrapartida, o L2 não é naturalmente estável; por isso, o telescópio precisa de pequenas manobras para manter sua órbita (Pearson et al., 2014; NASA, 2022).

Figura 8: Movimento orbital do JWST.

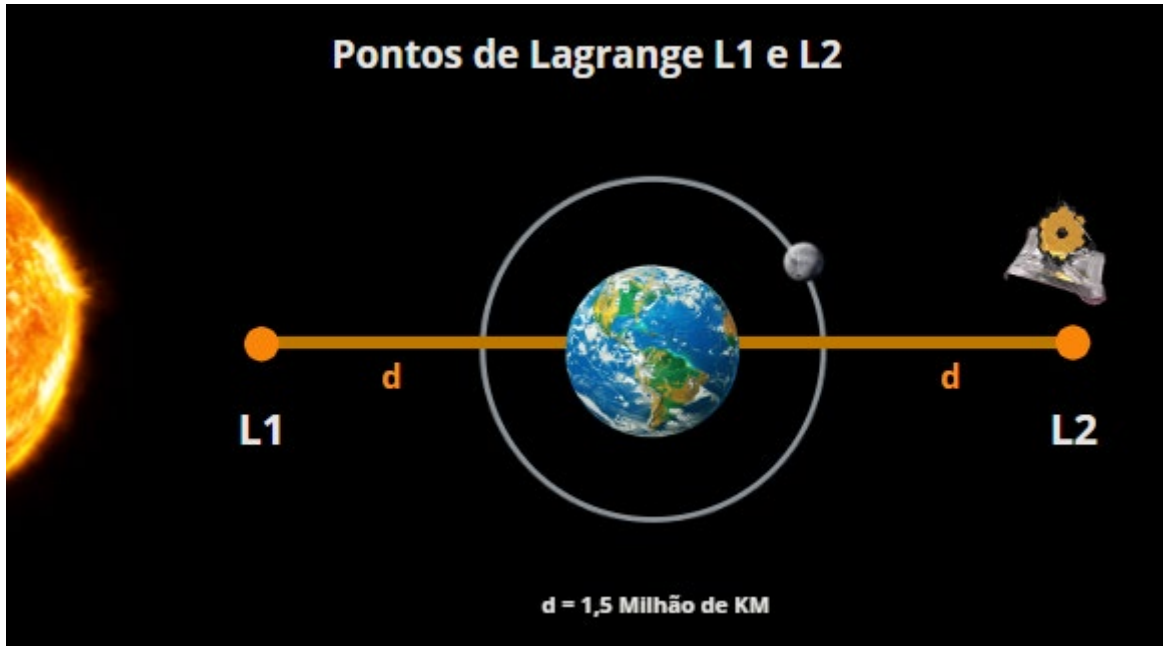


Fonte: NASA

3.9. O cálculo dos pontos de LAGRANGE

Segundo Pearson et al. (2024), o Telescópio Espacial James Webb foi colocado próximo ao ponto L2 do sistema Sol-Terra, a aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros da Terra, representado na Figura 9. Nessa posição, Sol, Terra e Lua permanecem praticamente na mesma direção, o que permite que um único escudo proteja os instrumentos da radiação solar e do calor terrestre. Embora se diga que o JWST está em L2, na prática ele descreve uma órbita de halo em torno desse ponto, realizando pequenas correções de trajetória.

Figura 9: Pontos L1 e L2 no sistema SOL-TERRA



Fonte: Elaborado pelo Autor

O cálculo aproximado da posição dos pontos de Lagrange baseia-se na Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton e na Terceira Lei de Kepler Equação 1. A intensidade da força gravitacional entre dois corpos é dada por:

$$F = G \frac{M m}{r^2} \quad (1)$$

Em que G é a constante gravitacional universal $6,6743 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$, M e m são as massas envolvidas e r é a distância entre seus centros.

No caso em que dois corpos massivos atuam simultaneamente sobre um objeto de massa desprezível (aqui, o JWST), escrevemos separadamente as forças gravitacionais exercidas pelo Sol e pela Terra conforme a Equação 2. Usamos M_1 para a massa do Sol, M_2 para a massa da Terra, m para a massa do JWST e definimos as posições relativas r'_1 e r'_2 como os vetores que vão do respectivo corpo até o JWST. Cada termo tem sinal negativo porque o vetor posição relativa aponta do corpo até o JWST, enquanto a força gravitacional puxa no sentido contrário (em direção ao corpo). A soma vetorial dessas duas forças fornece a força gravitacional resultante sobre o JWST.

$$F = - \frac{G M_1 m}{|r'_1|^3} r'_1 - \frac{G M_2 m}{|r'_2|^3} r'_2 \quad (2)$$

Os sinais negativos indicam direção ambas as forças apontam para trás (no sentido de reduzir r): a gravidade do Sol puxa para o Sol e a gravidade da Terra puxa para a Terra. Posteriormente, ao introduzir o termo centrífugo do referencial girante Equação 3, igualamos a soma dessas forças ao termo centrífugo para obter a condição de equilíbrio que define os pontos colineares ($L1, L2, L3$). Em um referencial que gira com velocidade angular (Ω) dada pela Terceira Lei de Kepler reinterpretada por Newton, temos:

$$\Omega = \sqrt{\frac{G (M_1 + M_2)}{R^3}} \quad (3)$$

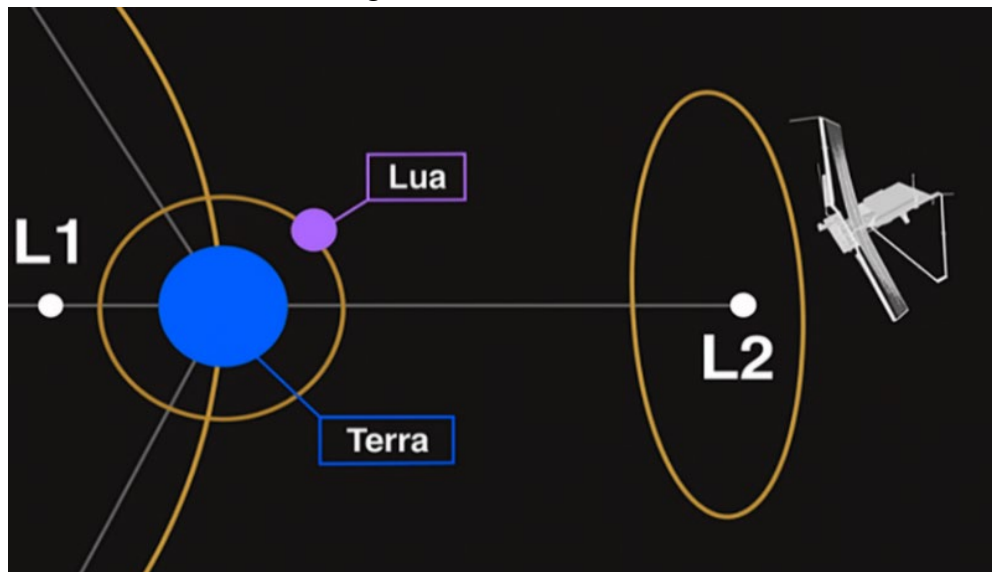
Adiciona-se o termo centrífugo e impõe-se a condição de equilíbrio Equação 4, para se obter os pontos de Lagrange. No caso do sistema Sol–Terra, para $M_2 \ll M_1$, a distância aproximada entre a Terra e os pontos $L1$ ou $L2$ é dada por (PEARSON et al., 2014):

$$d \approx R \left(\frac{M_2}{3M_1} \right)^{1/3} \quad (4)$$

resultando em cerca de $1,5 \times 10^6 km$.

Embora se diga que o JWST está em $L2$, na realidade ele descreve uma órbita de halo apresentado na Figura 10 ao redor desse ponto, pois $L2$ é um equilíbrio instável. Para manter-

Figura 10: Órbita de Halo



Fonte: Elaborado pelo Autor

se nessa órbita são feitas manobras periódicas de correção comandadas da Terra. O observatório não utiliza energia solar para se movimentar; ele possui combustível químico a bordo, carregado antes do lançamento, que alimenta seus propulsores para manter a trajetória desejada (NASA, 2021).

Compreendido o local de estacionamento do telescópio no ponto L2, surge a questão fundamental: por que ir tão longe? A resposta reside na necessidade absoluta de frio. Estar em L2 permite que o escudo solar bloqueie simultaneamente a luz do Sol, da Terra e da Lua, criando a sombra perpétua necessária para a operação dos instrumentos.

3.10. Escudo solar

O Telescópio Espacial James Webb utiliza um escudo solar de cinco camadas, mostrado na Figura 11, feito de Kapton recoberto por alumínio e dopado com silício, cuja função é proteger seus instrumentos sensíveis à radiação infravermelha. Esse escudo opera essencialmente por radiação: cada camada reflete e dissipa calor em direção ao espaço profundo, reduzindo progressivamente a energia térmica que atinge os instrumentos. Como no vácuo do espaço praticamente só existe transferência radiativa, processos como condução e convecção que requerem matéria têm papel desprezível nesse contexto.

Figura 11: Protetor Solar do JWST



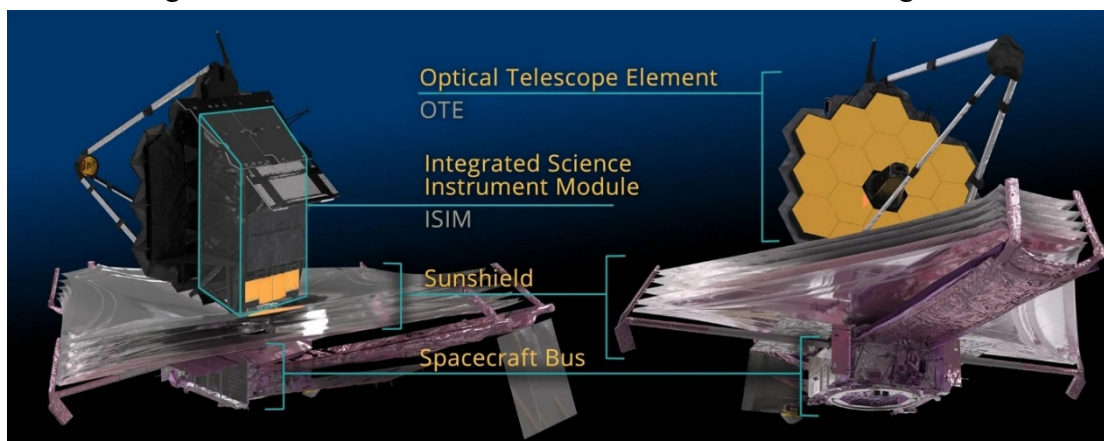
Fonte: NASA

Dessa forma, o escudo solar não apenas bloqueia a luz direta do Sol, mas também impede que o calor emitido pela Terra e pela Lua aqueça os detectores. O resultado é uma diferença de temperatura de centenas de graus entre o lado iluminado pelo Sol e o lado onde ficam os instrumentos, permitindo ao JWST operar a temperaturas próximas de 40 K. Esses níveis extremamente baixos são indispensáveis para observações infravermelhas de alta sensibilidade (Gardner et al., 2006; Clampin et al., 2023).

3.11. Instrumentos do JWST

O Telescópio Espacial James Webb é equipado com quatro instrumentos científicos principais (Figura 12), projetados para observar diferentes faixas do espectro infravermelho e coletar dados complementares. A NIRCam (Near-Infrared Camera) atua entre aproximadamente 0,6 e 5 micrômetros, fornecendo imagens de alta resolução e sensibilidade para detectar objetos muito tênues e distantes, como galáxias formadas nos primeiros instantes após o Big Bang (NASA, 2025a).

Figura 12: ISIM – Módulo de Instrumentos Científicos Integrados



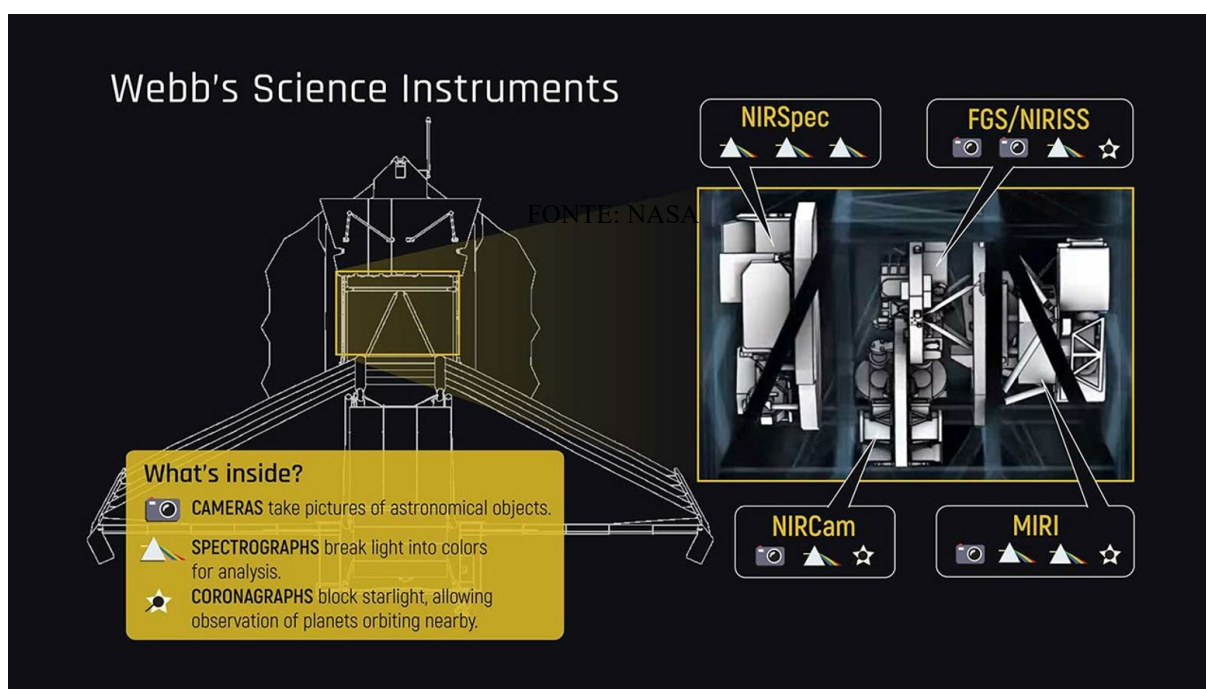
Fonte: NASA

A análise química e física desses objetos é possibilitada pelos espectrógrafos. O NIRSpec (Near-Infrared Spectrograph), que opera no mesmo intervalo espectral, realiza espectroscopia em larga escala, permitindo identificar a composição química, temperaturas e velocidades de galáxias, estrelas e exoplanetas por meio do deslocamento espectral de suas linhas (NASA, 2025b). Já o MIRI (Mid-Infrared Instrument) cobre o intervalo entre 5 e 28 micrômetros, sendo essencial para investigar poeira cósmica, discos protoplanetários e atmosferas planetárias, regiões cujas temperaturas situam-se nas dezenas a centenas de kelvins

e, portanto, emitem predominantemente no infravermelho médio (NASA, 2025c; GARDNER et al., 2006).

Completando o conjunto, o FGS/NIRISS (Fine Guidance Sensor / Near-Infrared Imager and Slitless Spectrograph) combina funções de controle de apontamento do telescópio com espectroscopia sem fendas, desempenhando papel fundamental na observação de exoplanetas e objetos extensos, além de garantir a estabilidade necessária para o registro preciso das imagens (NASA, 2025d). Juntos, esses instrumentos (Figura 13) formam um conjunto integrado capaz de abranger uma ampla faixa espectral, permitindo que o JWST investigue fenômenos físicos que vão desde a formação das primeiras galáxias até a caracterização de mundos fora do Sistema Solar.

Figura 13: Componentes do ISIM



Fonte: NASA

Esses instrumentos tornam o JWST um observatório versátil, capaz de obter imagens e espectros de alta sensibilidade numa ampla faixa do infravermelho, cobrindo desde a detecção de galáxias do Universo primordial até a caracterização de atmosferas de exoplanetas. Essa configuração instrumental reflete décadas de experiência acumulada com o Hubble e outros observatórios, ampliando significativamente a sensibilidade no infravermelho (Gardner et al., 2006; Rigby et al., 2023).

A análise dos aspectos físicos e tecnológicos do James Webb Space Telescope evidencia que cada decisão de projeto desde a escolha do ponto L2 e das correções orbitais até a

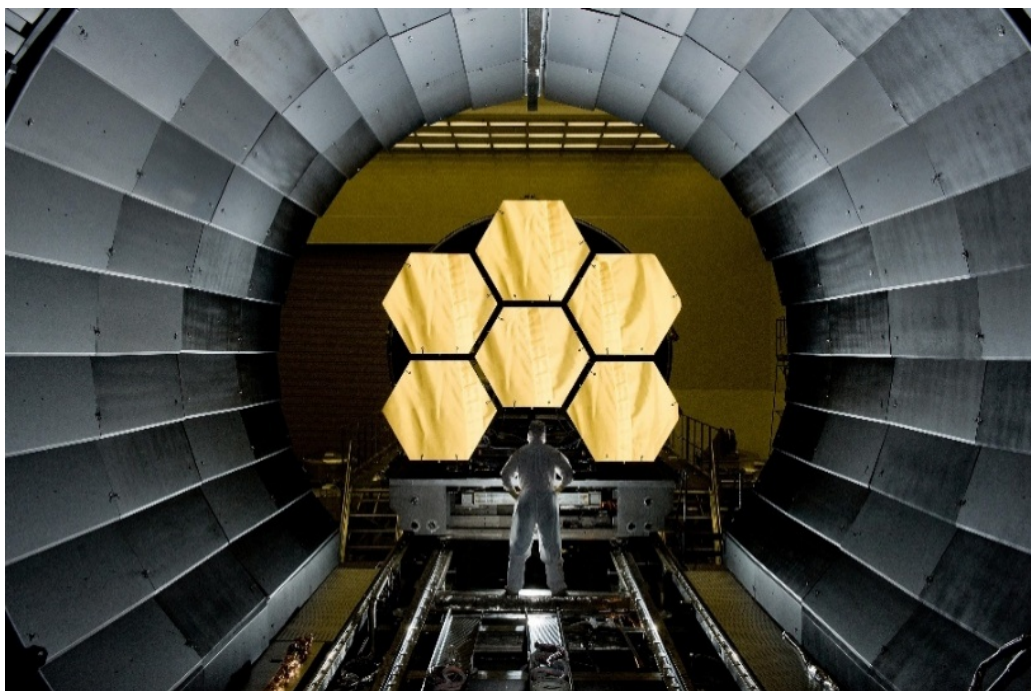
configuração óptica, os instrumentos científicos e o escudo solar está diretamente relacionada aos objetivos científicos do observatório. A operação no infravermelho, possibilitada pela óptica e pelos sistemas criogênicos, permite investigar tantas galáxias extremamente distantes, cujo espectro foi deslocado pelo redshift, quanto objetos intrinsecamente frios, como discos protoplanetários e atmosferas de exoplanetas.

Essa capacidade é potencializada pelo conjunto NIRCam, NIRSpec, MIRI e FGS/NIRISS fornece dados complementares em diferentes faixas do infravermelho, combinando imagens de alta resolução com espectroscopia detalhada, enquanto o escudo solar garante as condições térmicas adequadas para esses instrumentos. Em conjunto, esses elementos fazem do JWST um observatório singular, sucessor do Hubble e complemento de outras missões, ampliando significativamente a capacidade da astronomia moderna de explorar o cosmos (Gardner et al., 2006; Rigby et al., 2023).

3.12. Óptica, engenharia e região de operação do JWST

Os espelhos do Telescópio Espacial James Webb mostrado na Figura 14 foram projetados para oferecer alta performance óptica em condições extremas do espaço. Segundo Stahl (2007) e Feinberg et al. (2012), o material escolhido para os segmentos foi o berílio, devido à sua elevada rigidez específica, baixa densidade e estabilidade térmica em temperaturas

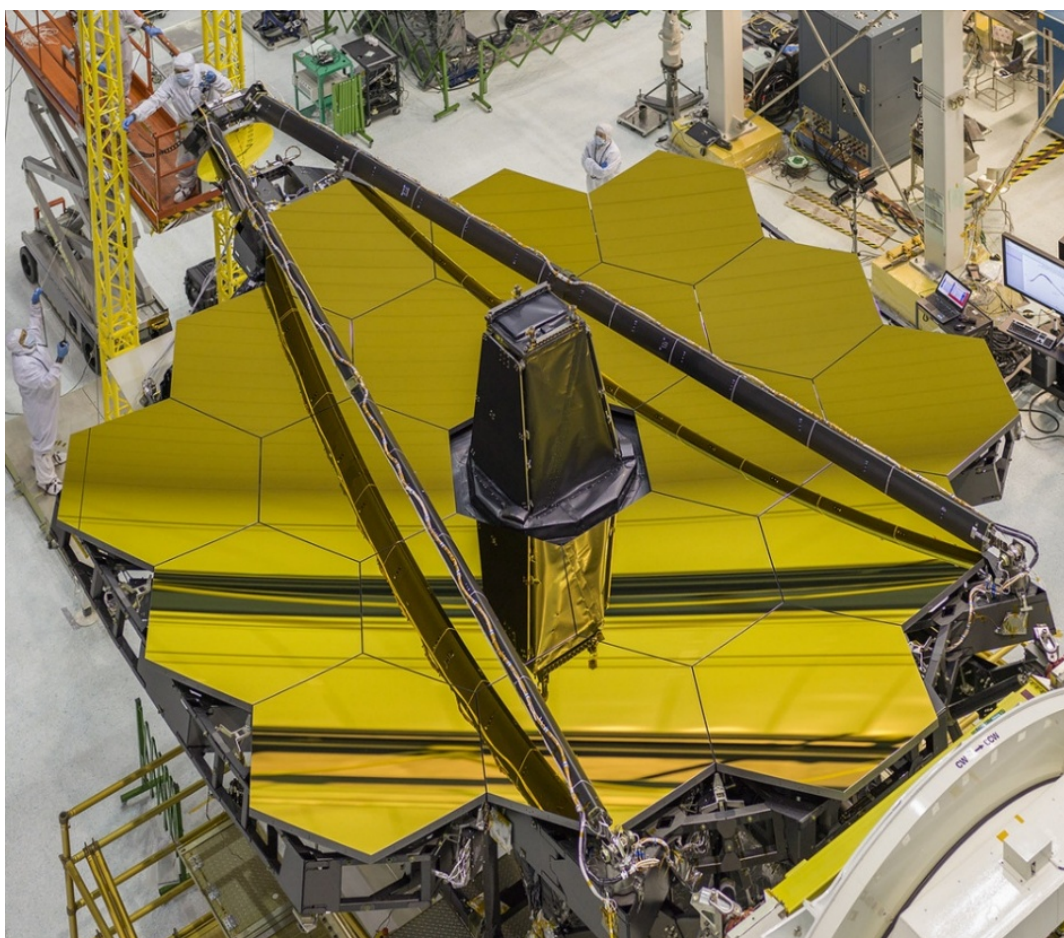
Figura 14: Espelhos do JWST



Fonte: NASA

criogênicas. Cada segmento do espelho primário recebeu um revestimento de ouro, aplicado por deposição em camada muito fina, para maximizar a refletividade na faixa do infravermelho, principal região de operação do telescópio (Lightsey et al., 2012). O espelho primário exibido na Figura 12 é segmentado em dezoito partes hexagonais para possibilitar o dobramento durante o lançamento e permitir ajustes individuais de alinhamento em órbita, garantindo assim a qualidade do foco e a precisão das observações.

Figura 15: Configuração final dos espelhos do JWST



Fonte: NASA

O projeto óptico do JWST foi concebido para operar prioritariamente na faixa do infravermelho apresentado na Figura 16, permitindo observar fenômenos que não são detectáveis no visível. Essa escolha está diretamente relacionada às leis da radiação de corpo negro, especialmente à Lei de Wien, que estabelece que o comprimento de onda do pico de emissão de um corpo desloca-se para valores maiores conforme a temperatura diminui. Assim, ao observar no infravermelho, o JWST consegue acessar informações cruciais sobre as fases iniciais da formação estelar e da evolução do Universo.

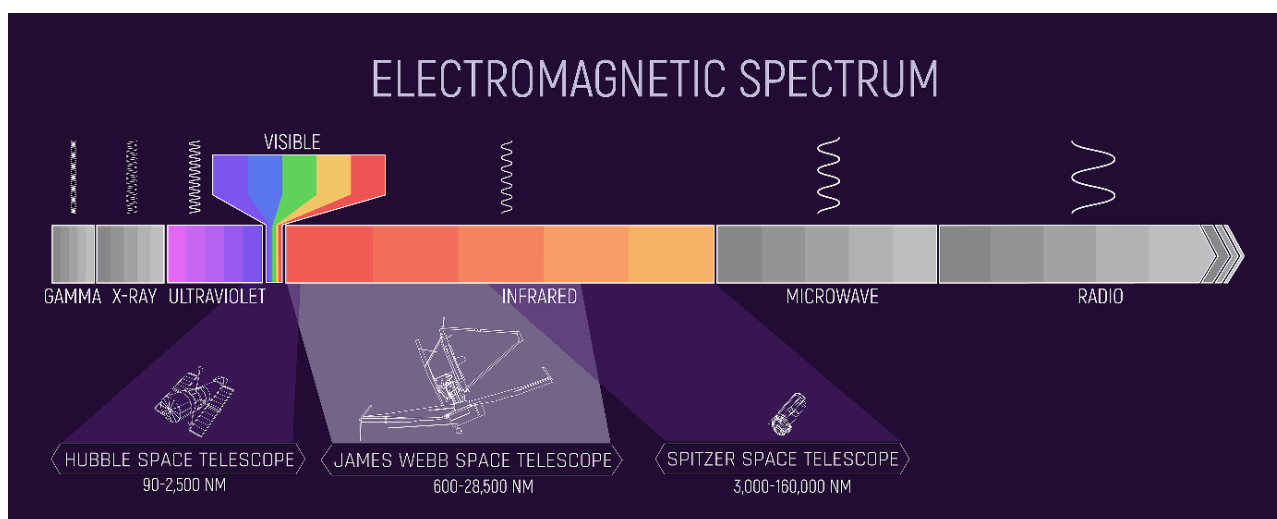
3.13. A observação no infravermelho pelo JWST

Contudo, não basta apenas onde o telescópio está estacionado; o verdadeiro segredo do JWST é como ele enxerga. Para observar a infância do universo, ele não pode depender da luz visível que nossos olhos captam. Ele precisa operar em uma faixa do espectro que, para nós, é completamente invisível: o infravermelho.

O Telescópio Espacial James Webb foi projetado para operar principalmente na faixa do infravermelho Figura 16, uma escolha que amplia significativamente sua capacidade de investigação em comparação a telescópios ópticos tradicionais, como o Hubble. Observar no infravermelho permite atravessar nuvens de poeira interestelar que bloqueiam a luz visível e acessar sinais de objetos muito frios, como planetas em formação e discos protoplanetários. Além disso, a expansão do Universo faz com que a luz de galáxias muito distantes seja deslocada para comprimentos de onda maiores, tornando-se detectável apenas no infravermelho. Dessa forma, o JWST consegue revelar estruturas e eventos do cosmos primitivo que seriam invisíveis no espectro visível (Gardner et al, 2006).

A Lei de Wien nos explica por que o JWST precisa ser frio para observar objetos frios (como poeira estelar). Contudo, há um segundo motivo para operarmos no infravermelho, ligado não à temperatura, mas à própria expansão do tecido do cosmos: o Redshift cosmológico

Figura 16: Região de operação do JWST em relação ao Hubble e Spitzer

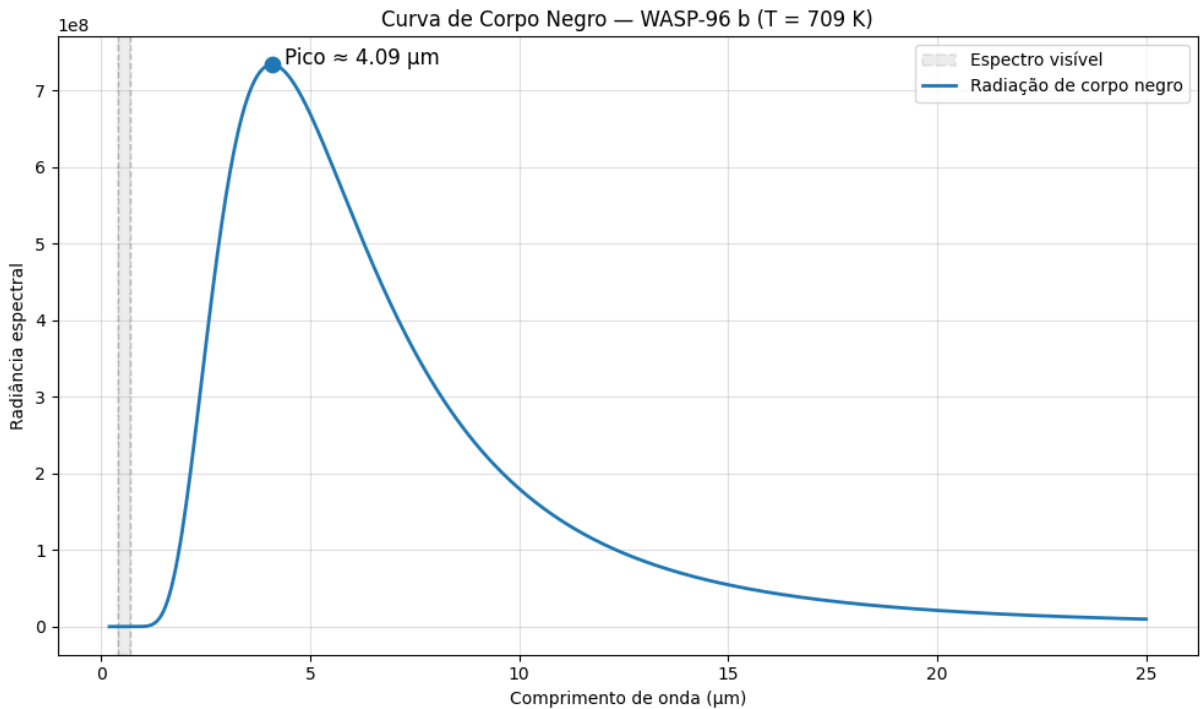


Fonte: NASA

3.14. A Lei de Planck e radiação de corpo negro

A interpretação da emissão térmica de astros e de estruturas interestelares como nuvens moleculares, discos de poeira e regiões de formação estelar fundamenta-se no conceito de corpo negro, um emissor ideal que absorve toda a radiação incidente e apresenta um espectro contínuo determinado exclusivamente pela temperatura. A descrição quantitativa desse espectro é formulada pela Lei de Planck (Equação 6), que estabelece a radiância espectral $U(\lambda, T)$ em função do comprimento de onda e da temperatura (Planck, 1901 apud Gardner et al., 2006):

Figura 17: Gráfico Curva de Corpo Negro



Fonte: Elaborado pelo autor.

$$U_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad (6)$$

Onde U_{λ} representa a energia emitida por unidade de área, tempo, ângulo sólido e comprimento de onda; h é a constante de Planck; c é a velocidade da luz; k_B é a constante de Boltzmann; λ é o comprimento de onda; e T é a temperatura absoluta do corpo emissor.

A partir dessa expressão, derivam-se duas leis clássicas fundamentais. A primeira delas é a Lei de Wien (Equação 7). Ela surge ao se determinar matematicamente o máximo da função

de Planck, isto é, ao calcular onde a derivada de $U_\lambda(\lambda, T)$ em relação a λ se anula. Esse procedimento fornece a relação:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T} \quad (7)$$

Onde $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o comprimento de onda de pico da radiação emitida, T é a temperatura absoluta do corpo (em Kelvin) e b é a constante de Wien, que é aproximadamente $2,897 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$. Essa lei mostra que há uma relação inversa entre a temperatura de um corpo negro e o comprimento de onda em que ele emite a maior intensidade de radiação: quanto mais quente, menor o comprimento de onda. A Lei de Wien também é comumente representada na equação 8:

$$\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (8)$$

A segunda consequência importante da Lei de Planck é a Lei de Stefan–Boltzmann (Equação 9). Ela surge da integração de U_λ sobre todos os comprimentos de onda, resultando na potência total irradiada por unidade de área:

$$j^* = \sigma T^4 \quad (9)$$

onde σ é a constante de Stefan–Boltzmann.

Essas três leis Planck, Wien e Stefan–Boltzmann são fundamentais na astrofísica observacional, pois permitem determinar a temperatura, luminosidade e faixa espectral de estrelas, planetas e galáxias a partir de suas curvas de emissão. Conforme explica Kalirai (2018), a combinação entre o comportamento do corpo negro e a expansão do universo define quais faixas do espectro são mais adequadas para observação astronômica.

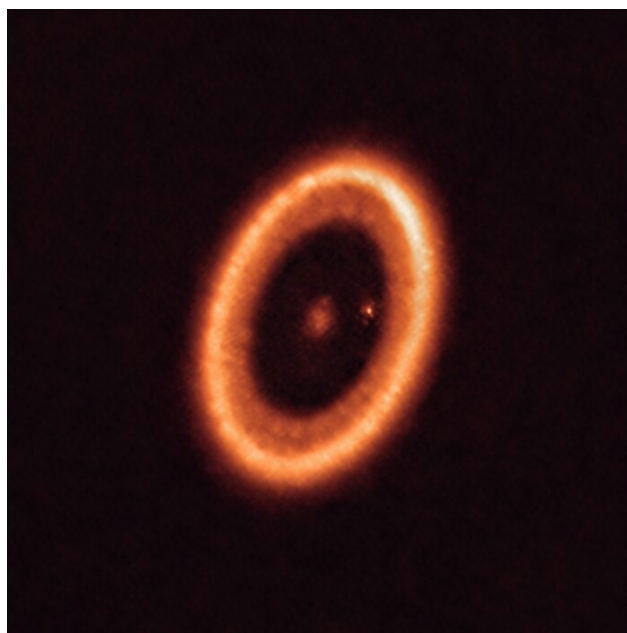
Em ambientes frios, como discos protoplanetários e nuvens moleculares, a temperatura típica varia de algumas dezenas a centenas de kelvins. Pela Lei de Wien, isso desloca o pico de emissão para a faixa do infravermelho médio, enquanto a Lei de Stefan–Boltzmann mostra que a intensidade total da emissão é relativamente baixa devido à dependência com T^4 . Assim, a detecção desses objetos exige sensores de alta sensibilidade e criogenia avançada, características que definem o projeto óptico e térmico do Telescópio Espacial James Webb (JWST) (Gardner et al., 2006).

Dessa forma, o JWST tornou-se capaz de detectar a radiação térmica proveniente de corpos frios e distantes, bem como a luz esticada pelo redshift de galáxias formadas nos primeiros instantes após o Big Bang. As leis do corpo negro Figura 19, portanto, não apenas fundamentam a teoria da radiação térmica, mas também sustentam o princípio físico por trás do funcionamento dos instrumentos do telescópio, que operam justamente nas faixas de maior emissão desses fenômenos.

3.15. Observação de objetos frios e discos protoplanetários

Conforme discutido anteriormente, a emissão térmica de corpos celestes frios, como nuvens moleculares e discos protoplanetários, obedece às leis de Planck, Wien e Stefan–Boltzmann, que relacionam temperatura e comprimento de onda de emissão. Em função dessas propriedades, tais objetos apresentam picos de radiação deslocados para o infravermelho médio e longo, sendo praticamente invisíveis no espectro óptico. Para detectar essas fontes, o James

Figura 18: Disco Protoplanetário



Fonte: Gov.br

Webb Space Telescope (JWST) foi projetado para operar prioritariamente entre $0,6\ \mu\text{m}$ e $28\ \mu\text{m}$, cobrindo tanto o infravermelho próximo, por meio da NIRCам e do NIRSpec, quanto o infravermelho médio, observado pelo MIRI. A função desses instrumentos é maximizar a sensibilidade do JWST à radiação emitida por estruturas frias, permitindo o estudo detalhado de regiões de formação estelar e de sistemas planetários em desenvolvimento, revelando estruturas e processos que telescópios ópticos não conseguem observar como por exemplo o

disco protoplanetário (Figura 21) observado pelo JWST (NASA, 2025; Gardner et al., 2006; Kalirai, 2018).

3.16. Como as observações do JWST se tornam imagens?

As observações realizadas pelo Telescópio Espacial James Webb não são registradas inicialmente como fotografias tradicionais, mas como medições numéricas da radiação infravermelha que chega aos detectores. Cada instrumento, como a NIRCam ou o MIRI, registra a quantidade de luz incidente em cada pixel ao longo do tempo, produzindo arquivos no formato FITS, padrão amplamente utilizado em astronomia. Esses arquivos contêm tanto os valores numéricos associados a cada pixel quanto informações contextuais da observação, como o filtro empregado, o tempo de exposição, a posição no céu e parâmetros instrumentais relevantes.

Após a captura, esses dados são enviados por telemetria ao Space Telescope Science Institute (STScI), que realiza a organização e o armazenamento inicial dos arquivos. A documentação técnica também destaca que os detectores do JWST realizam leituras múltiplas não destrutivas, um procedimento que reduz ruídos eletrônicos e evita perdas de informação durante a exposição, garantindo maior precisão e qualidade nos dados coletados (STScI, 2024).

Assim que chegam ao centro de processamento, os dados passam pelo JWST Science Calibration Pipeline, o sistema oficial responsável por transformar medições brutas em produtos científicos calibrados. O pipeline opera em etapas sucessivas: inicialmente corrige efeitos físicos do detector, converte as leituras em contagens por segundo e remove imperfeições instrumentais. Em seguida, executa calibrações científicas, incluindo correção de flat-field, calibração fotométrica, posicionamento astrométrico e aplicação de arquivos de referência atualizados. Por fim, múltiplas exposições podem ser combinadas para formar mosaicos, imagens profundas ou produtos integrados com distorções corrigidas e alinhamento preciso. A documentação do STScI descreve esse processo como essencial para garantir reprodutibilidade e qualidade científica dos dados finais (STScI, 2024).

Após a calibração, cada imagem obtida continua sendo monocromática e corresponde a apenas um filtro específico. Para gerar as imagens coloridas divulgadas ao público, é necessário combinar diversas imagens de filtros diferentes. Esse processo envolve o alinhamento dos quadros, a remoção de artefatos como ruído e rastros de raios cósmicos e a atribuição de cores visíveis às bandas captadas, uma vez que o infravermelho não pode ser percebido diretamente pelo olho humano. De acordo com materiais oficiais da NASA, o mapeamento de cor pode seguir uma lógica cromática, atribuindo tons azulados a comprimentos de onda menores e tons

avermelhados aos maiores, ou utilizar cores representativas para destacar elementos de interesse científico (NASA, 2024). Assim, a imagem final é uma composição visual que traduz fenômenos físicos reais para uma forma compreensível e esteticamente acessível.

Além da produção das imagens, os dados calibrados permitem análises científicas em diferentes áreas da astrofísica. Com esses dados, pesquisadores podem medir o brilho de objetos (fotometria), determinar posições com alta precisão (astrometria), extrair espectros de galáxias e estrelas e investigar propriedades como composição química e redshift. Tais análises são realizadas com ferramentas especializadas, frequentemente desenvolvidas em Python, utilizando bibliotecas como Astropy e módulos derivados do próprio pipeline do JWST.

Colaborações científicas recentes, como o projeto PHANGS–JWST, demonstram que esses procedimentos permitem construir gráficos, espectros, mosaicos e mapas físicos a partir dos valores numéricos armazenados nos arquivos FITS (PHANGS–JWST Collaboration, 2024). Dessa forma, a imagem colorida que chega ao público representa apenas a etapa final de um processo complexo, baseado em grande volume de dados e cálculos rigorosos.

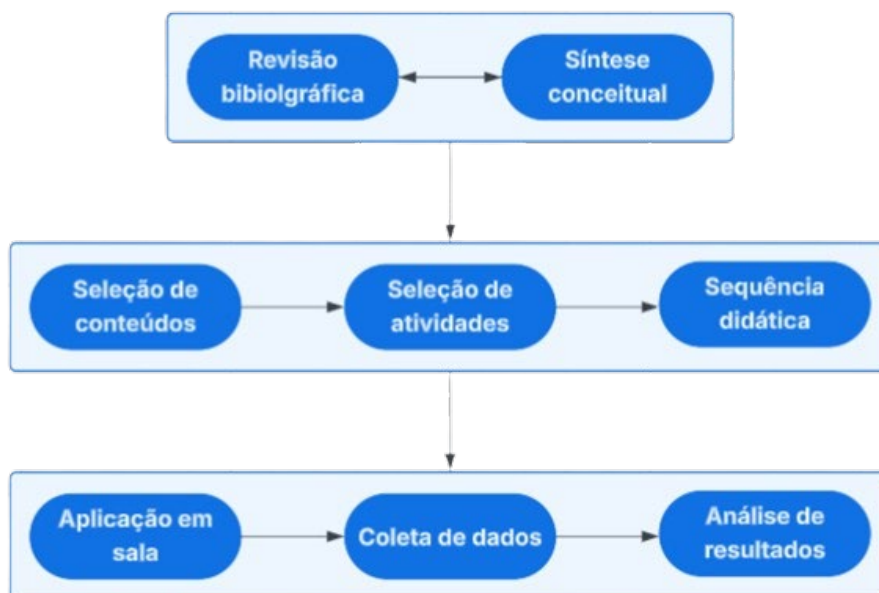
Fica evidente, que o James Webb é uma síntese extraordinária de múltiplos campos da Física. Vimos que sua operação depende de um entendimento refinado da gravitação Newtoniana (para sua órbita em L2), da termodinâmica (para seu resfriamento passivo e ativo) e da óptica ondulatória e quântica (para a detecção da luz infravermelha). Cada imagem capturada pelo JWST é o resultado de uma cadeia complexa de fenômenos físicos. Tendo estabelecido está sólida base teórica sobre o que é o telescópio e como ele funciona, estamos agora aptos a avançar para a etapa seguinte deste trabalho: a discussão metodológica e a estruturação da proposta pedagógica, que buscará transpor essa ciência de fronteira para o contexto significativo da sala de aula no Ensino Médio.

4. METODOLOGIA

Este trabalho estrutura-se como uma pesquisa de natureza aplicada, que visa gerar conhecimento para a solução de problemas específicos neste caso, a transposição didática de conceitos de física moderna para o Ensino Médio. A abordagem metodológica adotada é qualitativa e descritiva, focada na compreensão profunda de um fenômeno (o uso do JWST como ferramenta de ensino) em seu contexto natural (a sala de aula).

Para garantir um desenvolvimento robusto e coerente, a pesquisa foi organizada em três etapas interligadas, conforme ilustrado no fluxograma abaixo:

Figura 19: Fluxograma



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1. Etapa 1: Pesquisa teórica e síntese conceitual

1- A primeira etapa consistiu numa extensa revisão bibliográfica para construir uma fundamentação teórica sólida. As fontes de pesquisa incluíram:

- Artigos científicos seminais que descrevem a concepção e os objetivos do JWST.
- Manuais técnicos e relatórios da NASA sobre os instrumentos, a óptica e a missão do telescópio.

- Literatura sobre o ensino de Física e Astrofísica, com foco em metodologias ativas e na utilização de contextos históricos e tecnológicos para a aprendizagem significativa.
 - Documentos orientadores, como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), para alinhar a proposta às competências e habilidades exigidas para o Ensino Médio.
- 2- O objetivo desta etapa não foi apenas a compilação de informações, mas uma síntese conceitual que identificou os princípios físicos centrais para o funcionamento do JWST (como os Pontos de Lagrange e a radiação de corpo negro) e os traduziu em conceitos-chave passíveis de serem abordados no Ensino Médio.

4.2. Etapa 2: Desenvolvimento do produto educacional

- 3- Com base na síntese conceitual da etapa anterior, procedeu-se ao desenvolvimento do produto educacional que é um dos objetivos deste trabalho: uma Sequência Didática (SD) composta por três aulas, destinada a alunos da 2ª série do Ensino Médio.
- 4- A SD foi elaborada com os seguintes princípios orientadores:
- Contextualização: Utilizar o fascínio natural pelas imagens do JWST como ponto de partida para introduzir conceitos abstratos.
 - Gradualidade: Apresentar os conceitos de forma crescente em complexidade, partindo da observação pura (Aula 1) até à aplicação e cálculo (Aulas 2 e 3).
 - Multimodalidade: Incorporar recursos visuais (imagens, vídeos, gráficos) e analogias (como o controle remoto para o infravermelho) para facilitar a compreensão.
 - Atividade Investigativa: Incluir uma atividade prática em que os alunos analisam imagens, identificam telescópios e realizam cálculos simples de tempo-luz, promovendo o engajamento ativo.

4.3. Etapa 3: Aplicação e análise de resultados

- 5- A sequência didática foi aplicada em uma turma de 29 alunos da 2ª série do Ensino Médio do Colégio Estadual José Lobo. A coleta de dados para avaliação da proposta foi feita por meio de:

- Questionários: Instrumentos com questões objetivas e discursivas aplicados após a intervenção, para aferir a compreensão dos conceitos físicos trabalhados.
 - Observação participante: Registro do envolvimento, das dúvidas e dos comentários dos alunos durante a execução das aulas.
 - Análise das produções dos alunos: Avaliação das atividades práticas e das apresentações realizadas pelos grupos.
- 6- A análise dos dados foi de caráter qualitativo, centrada na interpretação das respostas discursivas e na observação do envolvimento da turma, visando avaliar não apenas a aquisição de conhecimento, mas também o despertar do interesse pela Física e pela Astronomia.
- 7- Esta abordagem metodológica em três etapas – do embasamento teórico à aplicação prática e análise – garante que a proposta pedagógica apresentada seja tanto cientificamente correta quanto pedagogicamente viável e eficaz.

5. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Nos capítulos anteriores, fizemos a jornada do “o quê”. Mergulhamos na física por trás do Telescópio Espacial James Webb (Capítulo 3), compreendendo desde a dança orbital nos Pontos de Lagrange até a física da radiação que nos permite ver o invisível. Em seguida, no Capítulo 4, definimos o “porquê” de nossa abordagem: uma metodologia focada na tradução conceitual, no acolhimento e na narrativa, priorizando o aluno real e suas dificuldades. Agora, chegamos ao “como”.

Este capítulo é a materialização dessa filosofia. Ele apresenta uma Sequência Didática (SD) desenhada não como um plano de aula rígido, mas como um roteiro para uma experiência. O objetivo aqui não é cobrir o conteúdo, mas descobrir o universo ao lado dos alunos.

Esta proposta é a nossa resposta à pergunta que move este trabalho de conclusão de curso: É possível usar a ciência mais avançada do planeta para resgatar o aluno que teme a matemática? Acreditamos que sim. E o caminho começa não com uma fórmula, mas com uma imagem que de tirar o fôlego.

5.1. Informações gerais

- Público-Alvo: Alunos da 2ª Série do Ensino Médio.
- Tema Central: A Luz que revela o Universo. A Física por trás do Telescópio Espacial James Webb.
- Duração Estimada: 3 (três) aulas de 50 minutos.
- Objetivos Principais:
 - Criar um ambiente de aula onde a curiosidade seja mais valorizada que a resposta certa. Mostrar a física como uma poderosa ferramenta humana de descoberta.
 - Construir uma compreensão intuitiva sobre:
 1. O que é a luz infravermelha e por que ela é essencial para ver objetos frios e distantes.
 2. O que é o Redshift (desvio para o vermelho) como resultado da expansão do universo, usando a analogia do som.
 3. Como o JWST funciona como um olho infravermelho que nos permite ver o passado.

5.2. A BNCC como aliada

A presente proposta pedagógica foi estruturada em consonância com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018), que orienta o ensino de Física para o letramento científico e a contextualização tecnológica. O trabalho com o Telescópio James Webb mobiliza diretamente duas competências específicas da área de Ciências da Natureza:

- Competência específica 2: *Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, bem como fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.*
 - Contexto da atividade: Mobilizada quando os estudantes analisam o Redshift nas imagens do JWST para compreender a expansão do universo.
- Competência específica 3: *Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e globais, além de comunicar descobertas e conclusões a públicos variados, em diferentes contextos e por meio de diversas mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).*
 - Contexto da atividade: Mobilizada ao discutir as soluções de engenharia do telescópio (como o escudo solar e os sensores infravermelhos) para superar as limitações da visão humana.

Para materializar essas competências, a sequência didática focou no desenvolvimento da seguinte habilidade:

- (EM13CNT201): *Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.*

5.3. A Sequência Didática

5.3.1 Aula 1

5.3.1.1 Observação inicial das imagens

A aula iniciou-se com a projeção, em tela cheia, de uma imagem de um aglomerado estelar, seguida por uma imagem de Júpiter obtida pelo Telescópio Espacial James Webb (JWST). Ambas foram apresentadas sem explicações

imediatas, permitindo que os estudantes observassem livremente os detalhes presentes nas imagens, como brilho, cores, organização das estrelas e estruturas atmosféricas. O objetivo desta etapa foi introduzir visualmente o tema da aula e evidenciar que diferentes instrumentos astronômicos produzem registros distintos conforme o tipo de radiação observada.

5.3.1.2 Perguntas e interpretações dos estudantes

Após a exibição das imagens, o professor questionou a turma sobre qual telescópio teria produzido tais registros, sendo o JWST rapidamente identificado pelos alunos. Em seguida, iniciou-se uma discussão orientada a respeito das diferenças notáveis entre as imagens do JWST e de outros telescópios. Para contextualizar essas diferenças, o professor apresentou o espectro eletromagnético, diferenciando luz visível, infravermelho e ultravioleta, além de destacar suas aplicações cotidianas. Foi enfatizado que o infravermelho é fundamental para observar regiões encobertas por poeira interestelar. Para ilustrar esse conceito, o professor exibiu um vídeo demonstrando a emissão de luz infravermelha de um controle remoto, visível apenas pela câmera do celular.

5.3.1.3 Comparação entre telescópios

Na etapa seguinte, foram apresentadas imagens de um mesmo objeto celeste obtidas por três telescópios espaciais diferentes: Spitzer, Hubble e JWST. A comparação permitiu aos alunos observarem como a faixa espectral de operação de cada instrumento influencia o resultado da imagem. Destacou-se que o JWST opera principalmente no infravermelho próximo e médio, o que possibilita a observação através da poeira interestelar, revelando estruturas ocultas que não são visíveis na faixa óptica. Essa comparação consolidou o entendimento sobre a relevância do infravermelho para estudos astronômicos contemporâneos.

Ao final da aula, os estudantes compreenderam que diferentes regiões do espectro eletromagnético fornecem informações distintas sobre os objetos astronômicos. Reconheceram ainda que a capacidade do JWST de observar no infravermelho explica a qualidade superior de suas imagens.

5.3.2 Aula 2

5.3.2.1 Apresentação da atividade

A segunda aula iniciou-se com a apresentação do slide contendo as instruções da atividade prática. Os estudantes foram divididos em grupos, e cada grupo recebeu uma imagem produzida por um dos telescópios espaciais (Spitzer, Hubble ou JWST), além de uma distância astronômica a ser utilizada para cálculo. O professor explicou que a atividade permitiria aplicar os conceitos estudados sobre espectro eletromagnético e velocidade da luz.

5.3.2.2 Explicações conceituais necessárias

Antes de os grupos iniciarem o trabalho, o professor revisou os conceitos essenciais para a atividade. Foram retomadas as diferenças entre os telescópios quanto às faixas espectrais observadas, destacando que o Spitzer opera no infravermelho, o Hubble na luz visível e ultravioleta, e o JWST no infravermelho próximo e médio. Também foram reforçados os conceitos de distância astronômica e velocidade da luz (aproximadamente 300.000 km/s), além da relação fundamental para o cálculo do tempo-luz:

$$\text{tempo} = \text{distância} \div \text{velocidade da luz. } t = \frac{d}{c}$$

Essa revisão garantiu que os estudantes estivessem aptos a realizar a etapa numérica da atividade.

5.3.2.3 Demonstração do cálculo

O professor realizou um exemplo completo no quadro utilizando a distância aproximada de Mercúrio ao Sol. Foram apresentados os dados, a organização da equação, a verificação da coerência das unidades e a interpretação do resultado. Essa demonstração funcionou como modelo para que os grupos conduzissem seus próprios cálculos de forma correta e estruturada.

5.3.2.4 Início da atividade prática

Após a demonstração, os grupos iniciaram o desenvolvimento da atividade. Cada grupo deveria:

- a) identificar a faixa espectral correspondente à imagem recebida;
- b) selecionar uma curiosidade sobre o objeto observado;

- c) pesquisar uma segunda imagem produzida pelo mesmo telescópio;
- d) realizar o cálculo do tempo-luz para a distância atribuída.

Durante essa etapa, o professor acompanhou os grupos, esclarecendo dúvidas e verificando a adequação dos cálculos e interpretações.

Os estudantes concluíram a aula capazes de relacionar imagens astronômicas às faixas do espectro eletromagnético, compreender as diferenças operacionais entre os telescópios espaciais e aplicar corretamente a fórmula da velocidade da luz para estimar tempos de viagem em escalas astronômicas.

5.3.3 Aula 3

5.3.3.1 Organização para as apresentações

A terceira aula iniciou-se com os grupos organizando os últimos ajustes em suas atividades. O professor instruiu sobre os critérios de apresentação, que incluíam clareza na explicação da imagem, justificativa da faixa espectral atribuída, correção do cálculo de tempo-luz e coerência das informações selecionadas.

5.3.3.2 Apresentação dos grupos

Cada grupo apresentou sua análise para a turma, seguindo a estrutura proposta: descrição da imagem recebida, identificação do telescópio correspondente, justificativa baseada nas características espectrais, exposição da curiosidade pesquisada, apresentação da segunda imagem selecionada e demonstração do cálculo da velocidade da luz. O professor interveio apenas quando necessário, garantindo correção conceitual e incentivando a participação.

5.3.3.3 Feedback final

Após as apresentações, o professor realizou uma síntese geral, destacando as principais aprendizagens observadas. Foram retomados conceitos relacionados ao espectro eletromagnético, às diferenças tecnológicas entre os telescópios espaciais e à importância do infravermelho para a observação de regiões obscurecidas por poeira cósmica. O professor também comentou a

precisão dos cálculos apresentados e reforçou boas práticas de interpretação e comunicação científica.

Nesta etapa final, a sala de aula se transforma em um espaço de divulgação científica. Ao desafiarmos os estudantes a traduzirem conceitos complexos como a expansão do universo evidenciada pelo Redshift para a linguagem sintética e visual, invertemos a lógica tradicional de avaliação. O aluno deixa de ser um receptor passivo de informações para se tornar um intérprete da ciência, obrigado a reorganizar o conhecimento para explicá-lo a um público leigo.

Sugestão: A avaliação, portanto, transcende a busca pela resposta certa ou errada de uma prova escrita. Ela se torna um processo contínuo e formativo, onde a aprendizagem se evidencia pela capacidade do estudante de conectar a teoria física (radiação infravermelha) com a evidência visual apresentada pelo telescópio. Quando o aluno é capaz de olhar para uma imagem de campo profundo e reconhecer ali não apenas cores, mas a assinatura térmica da história do universo, o objetivo pedagógico se realiza plenamente. Se o aluno consegue olhar para uma imagem de campo profundo e enxergar ali não apenas cores, mas a assinatura térmica da história do universo, o objetivo pedagógico foi plenamente alcançado.

A Sequência Didática aqui apresentada foi desenhada como uma resposta ao desafio de tornar a Física Moderna acessível e instigante no Ensino Médio. Ao estruturarmos as aulas em torno do fascínio visual do Telescópio James Webb, criamos uma ponte cognitiva que permite atravessar o abismo que muitas vezes separa o aluno da ciência de fronteira.

Esta proposta defende que não é necessário simplificar a Física a ponto de distorcê-la, mas sim humanizá-la, utilizando analogias e contextos que façam sentido na realidade do estudante. Com o roteiro de aplicação definido, o capítulo seguinte se dedicará a analisar os frutos dessa intervenção, observando como os estudantes do Colégio Estadual José Lobo reagiram a essa nova forma de olhar para o céu e para a ciência.

6. RESULTADOS

A avaliação da intervenção pedagógica foi realizada por meio de um questionário online (Apêndice -A) aplicado após a aula teórica e as atividades práticas sobre o Telescópio Espacial James Webb (JWST), o espectro eletromagnético e a observação astronômica no infravermelho. A análise dos dados indica que a proposta cumpriu satisfatoriamente seus objetivos, tanto no aspecto conceitual quanto no engajamento dos estudantes.

6.1 Compreensão dos conceitos abordados

Os resultados mostram que 85% dos estudantes declararam compreender bem os conceitos apresentados, enquanto 15% afirmaram compreender parcialmente. Esse cenário revela que a ampla maioria da turma assimilou de maneira consistente as ideias fundamentais discutidas como o motivo de o JWST operar no infravermelho, o papel dos telescópios espaciais na astronomia moderna e a relação entre radiação eletromagnética e formação de imagens científicas.

Mesmo os estudantes que indicaram compreensão parcial demonstraram engajamento conceitual consistente com o conteúdo, sugerindo que eventuais dúvidas residuais não impedem o entendimento geral da temática. Dessa forma, a intervenção se mostra eficaz em promover aprendizagem significativa em um conteúdo que, tradicionalmente, apresenta alto grau de abstração.

6.2 Impacto das atividades práticas

A avaliação referente às atividades práticas apresentou resultados ainda mais expressivos. De acordo com os dados coletados:

- 91,3% (21 alunos, Figura 24) dos estudantes afirmaram que as atividades práticas ajudaram bastante na compreensão;
- Apenas 8,7% (2 alunos, Figura 24) relataram que ajudaram um pouco;
- Nenhum estudante declarou que a prática não auxiliou na aprendizagem.

Esses números evidenciam que a proposta prática análise de imagens de diferentes telescópios, cálculos envolvendo distância e tempo-luz, interpretação de dados reais e discussão orientada desempenhou um papel central na consolidação dos conceitos trabalhados em aula.

As respostas abertas (Figura 21) reforçam essa percepção: muitos estudantes mencionaram que a prática facilitou a visualização de fenômenos, tornou a aula mais interessante e permitiu relacionar de forma concreta conteúdos teóricos que antes pareciam distantes do cotidiano. Os comentários destacam entusiasmo, curiosidade e valorização da dinâmica adotada, indicando que o caráter investigativo da atividade concentrou o maior impacto positivo da intervenção.

Figura 20: Respostas livres feita pelos alunos no questionário.

Já vi muitas fotos do James Webb na internet mas não sabia que por causa do infravermelho a imagem capturada é de muitos anos atrás, achei legal.

Apreendi o que é espectro eletromagnético, foi muito legal.

Otima aula bem explicada

A aula foi boa,parabéns!!!

Muito boa

Foi uma ótima atividade e ajudou a compreender melhor o espectro eletromagnético e os telescópios mais conhecidos.

Foi uma ótima aula.

Muito prática a aula

A aula foi bastante interessante, onde foi possível compreender melhor sobre os telescópios espaciais.

Gostei bastante !!

Gostei bastante achei uma aula legal e o professor que está passando pelo tcc muito educado e legal

Adorei, poderia ter mais aulas assim. Obrigado

Fonte: Autor

6.3 Síntese dos resultados

De modo geral, os dados apresentados nas Figuras 22 e 23 apontam para uma aprendizagem efetiva e uma recepção extremamente positiva da metodologia utilizada. Os altos índices de compreensão e a forte aprovação das atividades práticas demonstram que a proposta didática atingiu plenamente o objetivo de:

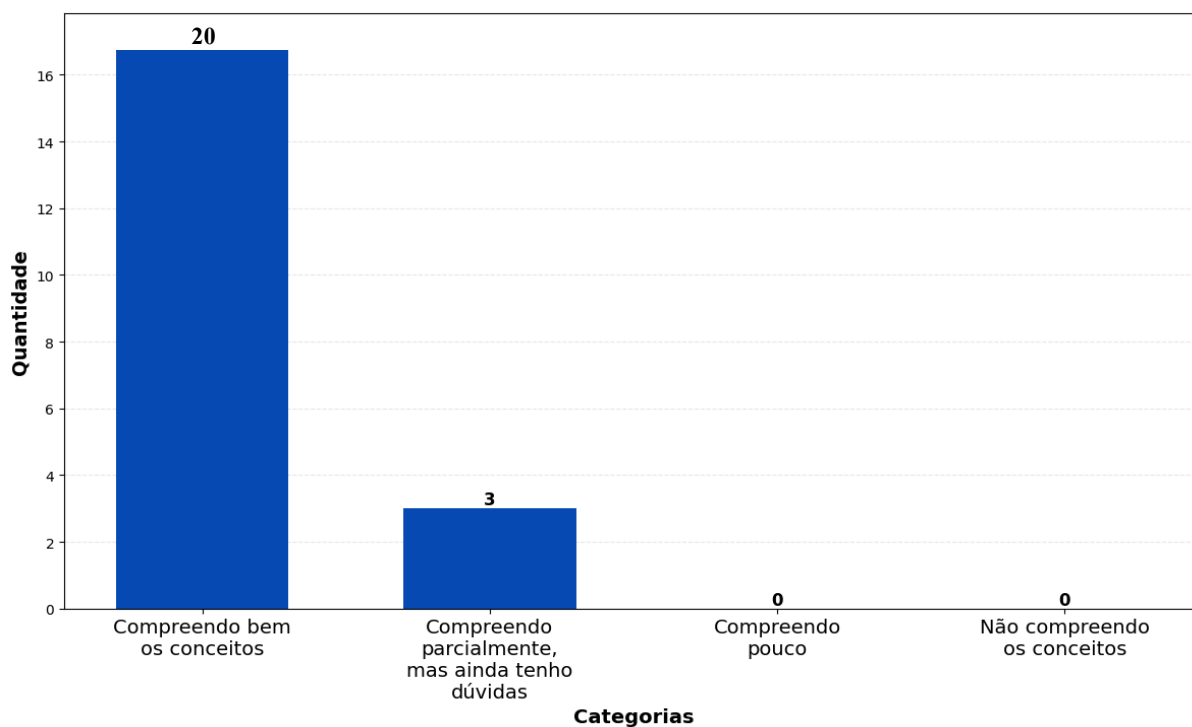
- aproximar os estudantes de conceitos de Física e Astronomia;

- Tornar temas complexos mais acessíveis por meio de exemplos concretos;
- promover engajamento e interesse científico;
- estimular raciocínio, interpretação e uso de ferramentas matemáticas;
- integrar teoria e prática de forma significativa.

Com base nesses resultados, conclui-se que a intervenção foi bem-sucedida e que a utilização de recursos visuais, cálculos contextualizados e análise de dados reais constitui uma estratégia eficiente para o ensino de Física no Ensino Médio, especialmente em conteúdos relacionados à astrofísica e às tecnologias científicas modernas.

A questão 6 foi incluída no formulário com o objetivo de avaliar, de maneira direta, a percepção dos estudantes sobre sua própria aprendizagem após a intervenção. Ao abordar temas centrais do conteúdo luz, espectro eletromagnético e o funcionamento de telescópios espaciais a pergunta permite verificar se as atividades práticas e a aula expositiva contribuíram para ampliar a compreensão desses conceitos. Trata-se de um indicador importante de aprendizagem

Figura 21: Questão 6 do questionário

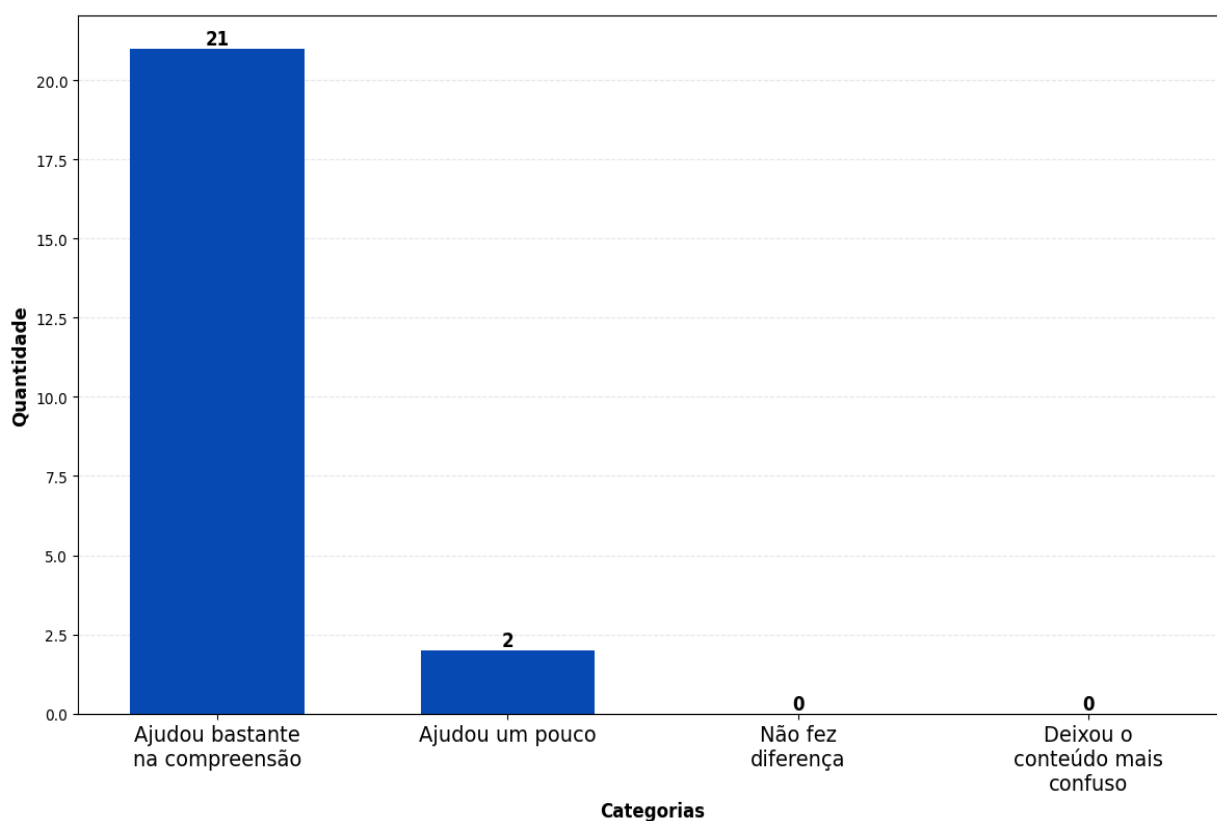


Fonte: Elaborado pelo autor

significativa, pois oferece ao pesquisador uma medida da apropriação conceitual percebida pelos próprios alunos, permitindo identificar avanços, possíveis lacunas e o impacto real da proposta didática no entendimento dos fenômenos físicos estudados.

A questão 7 teve como finalidade avaliar especificamente o impacto da atividade prática baseada em imagens e cálculos na aprendizagem dos estudantes. Ao solicitar que os alunos indicassem o quanto essa etapa contribuiu para a compreensão do conteúdo, a pergunta permitiu mensurar a eficácia da proposta experimental na mediação conceitual. Os resultados com 91% apontando que a atividade “ajudou bastante” e nenhum estudante indicando que ela não fez diferença ou gerou confusão — reforçam que a manipulação de dados e a visualização concreta de fenômenos associados ao espectro eletromagnético e aos telescópios espaciais desempenharam papel central na consolidação do entendimento. Dessa forma, a questão fornece evidências claras de que a abordagem prática complementou a explicação teórica, favorecendo uma aprendizagem mais ativa e contextualizada.

Figura 22: Questão 7 do questionário



Fonte: Elaborado pelo autor

Além das porcentagens e percepções apresentadas, os dados evidenciam que a intervenção promoveu não apenas compreensão conceitual, mas também deslocamentos importantes na forma como os estudantes se relacionam com conteúdos de Física e Astrofísica. A análise integrada das respostas indica que os alunos conseguiram articular diferentes elementos discutidos na intervenção — como radiação infravermelha, formação de imagens científicas, funcionamento de telescópios espaciais e interpretação de gráficos e cálculos — demonstrando uma compreensão mais estruturada do que a observada inicialmente. Esse resultado é particularmente significativo considerando que tais temas, conforme discutido na fundamentação teórica, costumam representar barreiras de aprendizagem no Ensino Médio devido ao forte caráter matemático e ao distanciamento da experiência cotidiana.

Os comentários abertos reforçam essa mudança ao revelar que a combinação entre visualização de imagens reais, atividades matemáticas contextualizadas e explicações vinculadas à tecnologia do JWST contribuiu para transformar conceitos antes percebidos como distantes em algo compreensível e intelectualmente estimulante. Desse modo, os resultados não apenas confirmam a eficácia da proposta didática, mas também validam a escolha metodológica do trabalho, que buscou integrar aspectos conceituais, tecnológicos e investigativos em uma experiência formativa coerente com as demandas contemporâneas do ensino de Ciências. Assim, os achados apresentados representam, de fato, o produto direto do percurso desenvolvido ao longo de todo o TCC, evidenciando que a intervenção cumpriu seu papel pedagógico e justificando plenamente sua relevância enquanto proposta de ensino.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou com sucesso a viabilidade de utilizar o Telescópio Espacial James Webb como eixo integrador para o ensino de física moderna no Ensino Médio. A investigação dos princípios físicos que fundamentam seu funcionamento revelou a notável convergência de diferentes áreas da física da mecânica celeste à termodinâmica e óptica em um projeto científico de vanguarda.

A fundamentação teórica permitiu estabelecer que cada aspecto tecnológico do JWST está ancorado em conceitos físicos fundamentais, desde a estabilidade orbital nos Pontos de Lagrange até a detecção da radiação infravermelha governada pelas leis do corpo negro. Esta compreensão profunda foi essencial para elaborar uma proposta pedagógica que traduz conceitos complexos em abordagens acessíveis e significativas.

A sequência didática desenvolvida, mostrou-se efetiva na promoção da aprendizagem significativa. Os resultados da aplicação prática indicaram que a combinação estratégica entre imagens de alto impacto visual, analogias conceituais bem construídas e atividades investigativas favorece substancialmente a compreensão de temas tradicionalmente considerados abstratos, como o espectro eletromagnético.

Os dados coletados revelaram não apenas a assimilação consistente dos conceitos físicos específicos, mas também e talvez mais importante o despertar do interesse pela astrofísica e pela investigação científica. Os comentários qualitativos dos estudantes demonstraram que a abordagem contextualizada, que parte do fascínio pelas imagens cósmicas para chegar aos fundamentos físicos, ressoa genuinamente com suas curiosidades e expectativas.

Como contribuição principal, este trabalho oferece uma proposta de como a ciência contemporânea de fronteira pode ser incorporada ao ensino básico, servindo tanto para atualizar os conteúdos curriculares quanto para inspirar novas gerações de estudantes. A experiência bem-sucedida com a sequência didática sugere que o JWST pode ser uma ferramenta poderosa para superar a dicotomia tradicional entre o rigor conceitual e o engajamento discente.

Por fim, este trabalho reafirma que ensinar física é, acima de tudo, convidar os estudantes a ler o universo com os olhos da curiosidade e as ferramentas do pensamento científico. O Telescópio James Webb, em sua missão de explorar os confins do cosmos, nos lembra que sempre há mais a descobrir - tanto no espaço quanto na sala de aula.

8. REFERÊNCIAS

- ASHBY, N. **Relativity in the Global Positioning System**. Living Reviews in Relativity, v. 6, art. 1, 2003. <https://askuswhatever.com/wp-content/uploads/2022/05/Ashby-Relativity-in-the-Global-Positioning-System-2003.pdf> Acesso em 23 de set. de 2025.
- CARNIANI, S. et al. **Spectroscopic confirmation of two luminous galaxies at a redshift of 14**. Nature, v. 633, p. 318–322, 2024. DOI: 10.1038/s41586-024-07860-9. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07860-9> Acesso em: 05 de nov. 2025.
- CLAMPIN, M. **Status of the James Webb Space Telescope Observatory**. NASA Technical Report NTRS 2014, 2013. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20140006634/downloads/20140006634.pdf> Acesso em 10 de ago. de 2025.
- CURTIS-LAKE, E. et al. **Spectroscopic confirmation of four metal-poor galaxies at $z = 10.3$ – 13.2** . Nature Astronomy, v. 7, p. 622–632, 2023. DOI: 10.1038/s41550-023-01918-w. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41550-023-01918-w> Acesso em: 05 de nov. 2025.
- FEINBERG, L. D. **JWST Optics Lessons Learned for Probe Missions**. NASA/DoC, 2012. https://explorers.larc.nasa.gov/2023APPROBE/pdf_files/JWST%20Optics%20Lessons%20Learned%20-%20Feinberg.pdf Acesso em 10 de ago. de 2025.
- GARDNER, J. P. et al. **The James Webb Space Telescope**. Space Science Reviews, v. 123, n. 4, p. 485–606, 2006. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11214-006-8315-7> Acesso em: 15 de maio de 2025.
- HOWELL, K. C. *Three-Dimensional Periodic Halo Orbits*. Celestial Mechanics, v. 32, p. 53–71, 1984. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1984CeMec..32...53H>. Acesso em: 11 de nov. 2025.
- KALIRAI, J. *Scientific discovery with the James Webb Space Telescope*. Contemporary Physics, v. 59, n. 3, p. 251–290, 2018. <https://arxiv.org/pdf/1805.06941> Acesso em: 15 de maio de 2025.
- LIGHTSEY, P. A.; ATKINSON, C.; FEINBERG, L. D. **James Webb Space Telescope: Large Deployable Cryogenic Telescope in Space**. Optical Engineering, v. 51, n. 1, 011003, 2012. <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/optical-engineering/volume-51/issue-1/011003/James-Webb-Space-Telescope--large-deployable-cryogenic-telescope-in/10.1117/1.OE.51.1.011003.pdf> Acesso em 15 de set. de 2025.
- MUNNS, David P. D. **The Challenge of Variations: The Observational Traditions of Ptolemy and Aristotle, and Copernicus' Heliocentric Solution**. Nuncius: Journal of the Material and Visual History of Science, Leiden, v. 22, n. 2, p. 223–248, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1163/182539107X00536> Acesso em: 05 de nov. de 2025

NASA. **Components of Webb’s Scientific Instruments – James Webb Space Telescope.** Disponível em: <https://science.nasa.gov/asset/webb/components-of-webbs-scientific-instruments/>. Acesso em: 24 out. 2025.

NASA. **How Are Webb’s Full-Color Images Made?** NASA Science, 2024. Disponível em: <https://science.nasa.gov/mission/webb/about-webb-images/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

NASA. **James Webb Space Telescope Mission Overview.** Disponível em: <https://science.nasa.gov/mission/webb/about-overview/>. Acesso em: 24 out. 2025.

NASA. **Mid-Infrared Instrument (MIRI) – James Webb Space Telescope.** Disponível em: <https://science.nasa.gov/mission/webb/mid-infrared-instrument-miri/>. Acesso em: 24 out. 2025.

NASA. **Near-Infrared Spectrograph (NIRSpec) – James Webb Space Telescope.** Disponível em: <https://science.nasa.gov/mission/webb/nirspec/>. Acesso em: 24 out. 2025.

NASA. **NIRCam – Near-Infrared Camera – James Webb Space Telescope.** Disponível em: <https://science.nasa.gov/mission/webb/nircam/>. Acesso em: 24 out. 2025.

PEARSON, J.; et al. **A large population of strongly lensed faint submillimetre.** Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 527, n. 4, p. 12044-, 2024
<https://academic.oup.com/mnras/article/527/4/12044/7485914> Acesso em 13 de ago. de 2025.

PHANGS–JWST COLLABORATION. **PHANGS–JWST: Data Processing Pipeline and First Full Release.** arXiv preprint, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2401.15142> Acesso em: 27 nov. 2025.

SANTOS, Lucas Oliveira dos; MÜLLER, Karen Barbosa. **Caracterização do atual cenário da divulgação científica brasileira em mídias digitais.** Journal of Science Communication América Latina, Milão, v. 5, n. 2, 2022. Disponível em: https://jcomal.sissa.it/article/pubid/JCOMAL_0502_2022_A01/. Acesso em: 23 de nov. 2025.

SOUTHWORTH, John. **Simple approximations to the positions of the Lagrangian points.** 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2309.15661>. Acesso em: 11 dez. 2025.

SPACE TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE (STScI). **JWST Science Calibration Pipeline – Stages of JWST Data Processing.** Baltimore: STScI, 2024. Disponível em: <https://jwst-docs.stsci.edu/jwst-science-calibration-pipeline/stages-of-jwst-data-processing>. Acesso em: 27 nov. 2025.

SPACE TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE (STScI). **JWST Science Data Overview.** Baltimore: STScI, 2024. Disponível em: <https://jwst-docs.stsci.edu/accessing-jwst-data/jwst-science-data-overview>. Acesso em: 27 nov. 2025.

Stahl, H. P. **JWST Primary Mirror Technology Development Lessons.** Proceedings SPIE, v. 6671, article 667102, 2007 <https://www.semanticscholar.org/paper/JWST-primary-mirror-technology-development-lessons-Stahl/bfdaa27736c877658b0937a769dc0427506e662d> Acesso em 10 de ago. de 2025.

APÊNDICE A

O questionário abaixo foi utilizado como instrumento de coleta de dados após a intervenção didática realizada com a turma. Ele teve como objetivo avaliar a compreensão dos estudantes sobre os conteúdos abordados, bem como identificar percepções sobre a aula e as atividades práticas desenvolvidas.

Questionário

1. Termo de aceite para participação na pesquisa do Trabalho de Conclusão de Curso. Considerando as informações apresentadas, você aceita participar voluntariamente desta pesquisa?
2. As imagens apresentadas em aula mostraram regiões do espaço captadas por diferentes telescópios. O Telescópio Espacial James Webb observa principalmente na faixa do:
3. Ao comparar as imagens do Spitzer, Hubble e James Webb, observou-se que o JWST consegue revelar estruturas antes escondidas pela poeira interestelar. Isso ocorre porque:
4. O escudo solar do JWST é essencial para o funcionamento do telescópio porque:
5. Durante a atividade em grupo, cada equipe analisou imagens provenientes de diferentes telescópios. O objetivo principal dessa atividade foi:
6. Após discutir as distâncias astronômicas e calcular o tempo de viagem na velocidade da luz, podemos concluir que:
7. Após a aula e as atividades práticas, como você avalia sua compreensão sobre o espectro eletromagnético e o funcionamento dos telescópios espaciais?
8. Em relação à atividade prática com as imagens e os cálculos, você considera que:
9. Nos conte a sua experiência com a aula de hoje, comentando a sua opinião sobre a aula teórica e a atividade prática.

APÊNDICE B

Materiais e registros da intervenção didática

Este apêndice reúne os registros fotográficos da aplicação da sequência didática, realizada com os estudantes do 2º ano do Ensino Médio do Colégio Estadual José Lobo. As imagens documentam o desenvolvimento das atividades e o engajamento dos alunos.

Registros da Aula 1

Nas figuras 24 e 25 apresenta o momento inicial da aula com a projeção da imagem do JWS

Figura 23: Imagens da aula 1



Fonte: Autor

Figura 24: Imagens aula 1



Fonte: Autor

Registros da Aula 2

Nas figuras 26 e 27, os alunos estão realizando os cálculos de tempo-luz durante a atividade prática.

Figura 26: Imagens aula 2



Fonte: Autor

Figura 25: Imagens aula 2

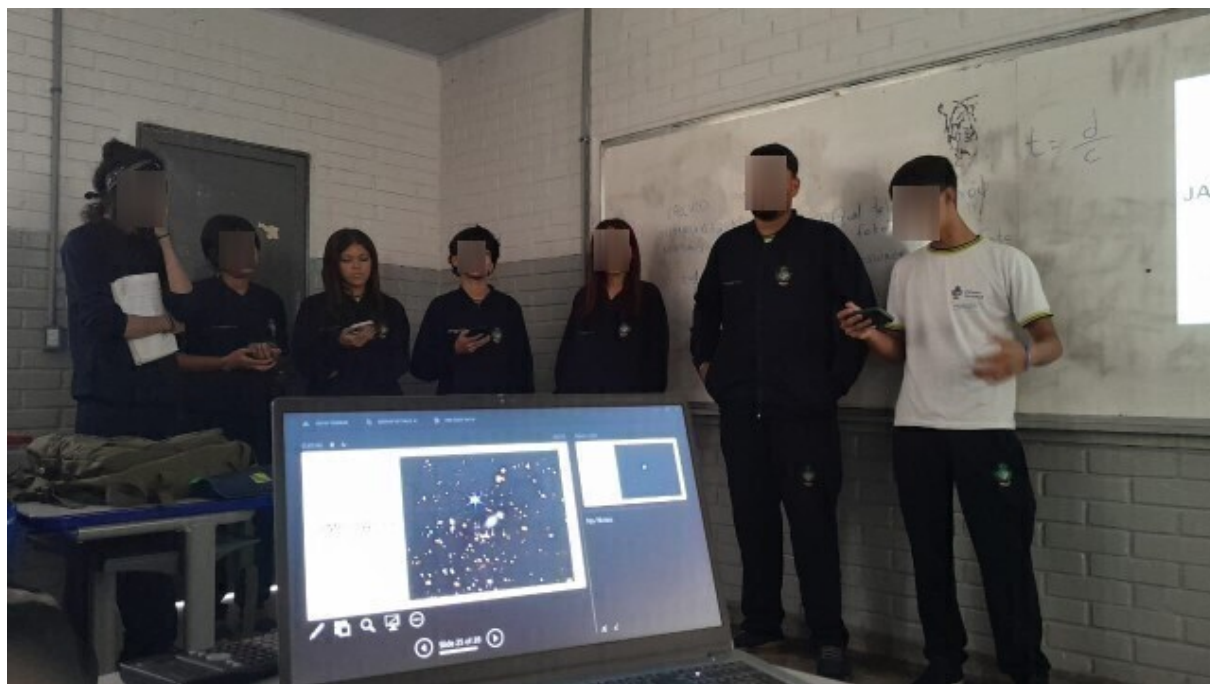


Fonte: Autor

Registros da Aula 3

Nas figuras 28,29 e 30 é o momento de apresentação dos grupos durante a Aula 3. Os alunos, atuando como divulgador científico, explicando para a turma a relação entre a imagem analisada, o telescópio que capturou a imagem e a região do espectro eletromagnético. A atividade visava desenvolver a competência de comunicação científica e a compreensão

Figura 27: Imagens aula 3



conceitual.



Fonte: Autor

Figura 29: Imagens aula 3



Fonte: Autor