

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA WINTER

**COSMOLOGIA SIMPLIFICADA: UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO SOBRE
COSMOLOGIA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**

**MEDIANEIRA
2024**

ANA PAULA WINTER

**COSMOLOGIA SIMPLIFICADA: UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO SOBRE
COSMOLOGIA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**

**SIMPLIFIED COSMOLOGY: A TEACHING SEQUENCE ON MODERN
COSMOLOGY IN HIGH SCHOOL**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) como um dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Professor Dr. Fabrício Tronco Dalmolin

MEDIANEIRA

2024



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Medianeira



ANA PAULA WINTER

COSMOLOGIA SIMPLIFICADA: UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO SOBRE COSMOLOGIA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ensino De Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Área de concentração: Física Na Educação Básica.

Data de aprovação: 09 de Março de 2024

Dr. Fabricio Tronco Dalmolin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Ederson Staudt, Doutorado - Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Dr. Fabio Rogerio Longen, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 12/03/2024.

LISTA DE FIGURAS E QUADRO

Figura 1 – Evolução dos telescópios.....	20
Figura 2 – Radiotelescópio do Projeto BINGO	20
Figura 3 – Tipos de sondas espaciais	20
Figura 4 – Satélite artificial brasileiro Amazonia-1 lançado em 2020	21
Figura 5– Estação orbital intenarcional.....	21
Figura 6– Telescópio espacial Johannes Kepler.....	21
Figura 7 – Telescópio especial Hubble.....	22
Figura 8 – Telescópio especial James Webb	25
Quadro 1 – Roteiro com os tópicos dos encontros/aulas do PE	11

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
CONTEXTUALIZAÇÃO	7
1 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	10
2 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO PE	12
2.1 Primeiro encontro/aula	12
2.1.1 Primeiro momento – introdução	12
2.1.2 Segundo momento – conhecimento prévio	13
2.1.3 Terceiro momento – atividade avaliativa em sala de aula presencial (pré-teste).	13
2.2 Segundo e terceiro encontros/aulas	14
2.2.1 Primeiro momento – apresentação de temas e conceitos pertinentes	14
2.2.2 Segundo momento – sistematização do conhecimento	16
2.2.3 Terceiro momento – atividade experimental e avaliativa em sala de aula	17
2.3 Quarto Encontro/Aula	18
2.3.1 Primeiro momento – apresentação de temas e conceitos pertinentes	19
2.3.2 Segundo momento – atividades de sistematização do conhecimento	23
2.3.3 Terceiro momento – sintetização do conhecimento aprendido	23
2.4 Quinto Encontro/Aula	24
2.4.1 Primeiro momento – apresentação do tema da aula	25
2.4.2 Segundo momento – atividades de sistematização do conhecimento	27
2.4.3 Terceiro momento – sintetização do conhecimento e etapa de <i>feedback</i>	27
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS	31
REFERÊNCIAS DOS ‘BALÕES’ DA SEA/PE	33
APÊNDICE – CARTILHA EDUCATIVA	34

INTRODUÇÃO

“O conhecido é finito, o desconhecido, infinito; intelectualmente estamos numa ilhota no meio de um oceano ilimitado de inexplicabilidade. Nossa função em cada geração é reivindicar um pouco mais de terra firme”.
Thomas Henry Huxley (1887).

Há uma percepção mundial de que a proposta de ensino da Ciência, não apenas aquela especificamente voltada para o ensino em Ciência como também às Ciências, tem impulsionado investigações e discussões sobre questões históricas, filosóficas e epistemológicas com o propósito de alcançar resultados contributivos para a expansão de uma visão mais abrangente sobre a atividade científica, a natureza da Ciência, a formação docente e a prática de ensino de Ciências da Natureza na Educação Básica e na Educação Superior.

A partir dessa compreensão, apresentamos um material didático produzido no formato de Produto Educacional (PE) e uma Cartilha Educativa para professores e estudantes, desenvolvidos por Ana Paulo Winter, sob orientação do professor Doutor Fabricio Tronco Dalmolin, aplicável à prática docente na Educação Básica, Ensino Médio, para o desenvolvimento do conteúdo curricular de Cosmologia, cujo propósito maior é subsidiar as ações pedagógicas de professores de Física.

A proposta deste PE faz parte da linha de pesquisa de Física no Ensino Médio, modalidade Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), *Câmpus* Medianeira.

O PE versa sobre o ensino da Cosmologia Física com inserções teóricas na Cosmologia Observacional, cujas reflexões e discussões elaboradas provêm por uma revisão teórico-conceitual que envolve os primeiros modelos Cosmológicos e os parâmetros do Universo Observável, e tem como objetivo principal resgatar alguns conceitos e enriquecer os conteúdos sobre Cosmologia Física, no Ensino Médio, conhecer os instrumentos utilizados na Cosmologia Observacional e as novas perspectivas que estão surgindo nessa direção em atenção aos objetivos definidos pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, PCN+ e Diretrizes Curriculares Estaduais do Paraná para o ensino da Física no Ensino Médio.

Determinam-se três objetivos específicos a serem seguidos, quais sejam:

- a) Rever as bases teóricas que fundamentam o ensino da Cosmologia Física na Educação Básica.

- b) Desenvolver um PE para o ensino da Física, fundamentado na teoria da aprendizagem significativa e aplicado na prática pedagógica sob o formato de uma Sequência de Ensino-Aprendizagem (SEA).
- c) Experienciar a aplicação do PE na prática pedagógica com estudantes de uma turma da 1ª série do Ensino Médio, em uma instituição de ensino público paranaense.

Na elaboração deste PE foi adotada uma estratégia metodológica no formato de SEA, cujos conteúdos curriculares elencados para o ensino da Física foram organizados no formato de uma Cartilha Educativa para auxiliar a aplicação do PE na prática pedagógica.

A organização dos conteúdos curriculares se firmou no entendimento de que temas relativos à Cosmologia Física e à Cosmologia Observacional despertam interesse dos estudantes durante as aulas de Física.

Todo o material elaborado como sugestão, testado e apresentado neste PE e na Cartilha Educativa é de livre acesso para permitir sua utilização por professores e estudantes de redes educacionais do Ensino Médio, desde que seja devidamente referenciado. A íntegra do PE e da Cartilha Educativa foi disponibilizada na página da UTFPR, Câmpus Medianeira, com acesso facilitado.

CONTEXTUALIZAÇÃO

O propósito para discussões e reflexões sobre o tema apresentado neste PE se firma em algumas ‘perguntas fundamentais’ pautadas por Hawking e Mlodinow (1998), na citação de Henrique (2011), e que envolvem o campo de conhecimento da Cosmologia, como por exemplos: Por que o Universo existe? Ele sempre existiu? O Universo tem um começo já determinado e um fim predefinido? Como seria o fim do Universo? Quem criou o Universo? Há um sentido para a vida no Universo?

O certo é que muitos de nós, ainda na infância, formulamos algumas dessas ‘perguntas fundamentais’. Porém, mesmo com o avançar da idade, estudos e experiências vividas ainda não encontramos respostas, o que tende a aumentar nosso interesse e o da população em desvendar certos ‘mistérios’ do universo.

A respeito de tais ‘perguntas fundamentais’, Hawking e Mlodinow (1998) expressam:

[...] vivemos o dia-a-dia sem entendermos quase nada do mundo. Pouca atenção damos ao mecanismo que gera a luz do Sol e possibilita a vida: à gravidade, que nos cola a uma Terra que, de outra forma, nos lançaria em rotação pelo espaço; aos átomos de que de somos feitos e de cuja estabilidade dependemos fundamentalmente. Com exceção das crianças (que não sabem o suficiente para fazer nada mais que perguntas importantes), poucos de nós gastamos muito tempo considerando por que a natureza é do jeito que é; de onde surgiu o cosmo, ou se ele sempre existiu; se o tempo algum dia voltará para trás, fazendo os efeitos antecederem as causas; ou ainda se existem limites máximos para o conhecimento humano. Há até mesmo crianças – eu conheci algumas delas – que querem saber como é um buraco negro; qual a menor porção da matéria; por que lembramos do passado e não do futuro; como se explica, se houve um caos primordial, que agora haja ordem (pelo menos aparentemente); e por que existe um universo [...] (Hawking; Mlodinow, 1998 *apud* Henrique, 2011, p. 19).

Embora a Ciência ainda não responda de forma decisiva a todas essas ‘perguntas fundamentais’ e que, possivelmente, a busca por respostas nunca seja concluída, Ribeiro e Videira (2011) defendem novas investigações sobre o estatuto epistemológico das leis, teorias e modelos cosmológicos. Afirmam os autores:

[...] Para nós, não é possível, neste caso, evitar a sugestão de uma resposta para a questão sobre a natureza das teorias científicas. Parece-nos que a própria natureza das questões cosmológicas impõe a necessidade de optarmos por uma das possibilidades existentes: descrição ou explicação. Talvez uma das poucas lições perenes que podemos colher do desenvolvimento da cosmologia nos últimos 100 anos, é que esta é inseparável da especulação e da ousadia (Ribeiro; Videira, 2011, p. 3).

Mesmo que muitas dessas perguntas ainda não tenham respostas, pautar temas relativos à Cosmologia vem ao encontro dos objetivos do ensino da Física no Ensino Médio. Como uma Ciência que procura explicar os fenômenos naturais, a Cosmologia surge na Antiguidade impulsionada pela curiosidade do homem em entender o Universo diante da necessidade de organizar suas tarefas cotidianas como, por exemplo, o plantio e a colheita, e se desenvolve ao longo dos séculos.

As orientações para a disciplina de Física no Ensino Médio acompanham a busca da humanidade para entender os fenômenos naturais e têm por base os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) para o Ensino Médio, as diretrizes definidas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e as Diretrizes Curriculares Estaduais do Paraná (DCE). Diante de tais orientações, direciona-se o foco para o ensino de Física no que diz respeito à Cosmologia, em particular a Cosmologia Observacional.

Nos PCN + do Ensino Médio (Brasil, 2002, p. 59), a ação pedagógica do professor visa construir uma visão da Física que se volta com especificidade para a “[...] formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade”.

Nessa perspectiva, nos PCN + é recomendado que a prática pedagógica se encaminhasse para o alcance de seus objetivos a fim de conduzir os estudantes para o desenvolvimento de um conjunto de competências específicas que lhes permitam a percepção, a compreensão e o desenvolvimento de habilidades para lidar com fenômenos naturais e tecnológicos presentes da vida cotidiana, e instrumentalizá-los para compreender o Universo a partir de princípios, leis e modelos construídos.

No encaminhamento da prática pedagógica é necessária uma introdução sobre a historicidade da Física ao longo do processo evolutivo da humanidade, suas contribuições, sua linguagem própria e específica, e suas diferentes formas de expressão: fórmulas e relações matemáticas, tabelas e gráficos (Brasil, 2002). Tal orientação precisa ser observada no encaminhamento didático-pedagógico dos conteúdos curriculares do campo da Cosmologia.

No documento da BNCC, os conceitos próprios das Ciências da Natureza e suas tecnologias são sistematizados em leis, teorias e modelos em todas as áreas. Especificamente na área Vida Terra e Cosmos, que resulta da articulação das unidades temáticas Vida e Evolução e Terra e Universo desenvolvidas no Ensino Fundamental, propõe-se que os estudantes

[...] analisem a complexidade dos processos relativos à origem e evolução da Vida (em particular dos seres humanos), do planeta, das estrelas e do Cosmos, bem como a dinâmica das suas interações, e a diversidade dos seres vivos e sua relação com o ambiente. Isso implica, por exemplo, considerar modelos mais abrangentes ao explorar algumas aplicações das reações nucleares, a fim de explicar processos estelares, datações geológicas e a formação da matéria e da vida, ou ainda relacionar os ciclos biogeoquímicos ao metabolismo dos seres vivos, ao efeito estufa e às mudanças climáticas (Brasil, 2018, p. 549).

Entre as competências específicas definidas na BNCC para as Ciências da Natureza e suas tecnologias, o estudante precisa desenvolver competências para:

[...] 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, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

[...] 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/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC, grifo nosso) (Brasil, 2018, p. 553).

Nos conteúdos curriculares de Ciência da Natureza no Ensino Médio há clara recomendação sobre abordagens, nas práticas de ensino, de conteúdos de Cosmologia e suas tecnologias contemporâneas, pois, sob um sentido amplo de visão de mundo, tais conteúdos e tecnologias estão “[...] diretamente associados ao conhecimento físico, de forma que um aprendizado culturalmente significativo e contextualizado da Física transcende naturalmente os domínios disciplinares estritos”. Esclarece-se, ainda, que efetivo aprendizado de Cosmologia depende do conhecimento da teoria da gravitação, de noções essenciais sobre a constituição elementar da matéria e energética estelar (Menezes *et al.*, 1998, p. 10).

É, pois, nessa perspectiva que se apresenta o PE elaborado, que versa sobre o conhecimento próprio da Cosmologia, seguido pela Cartilha Educativa: Cosmologia Observacional na Educação Básica.

PRODUTO EDUCACIONAL: COSMOLOGIA OBSERVACIONAL NA EDUCAÇÃO BÁSICA

1 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Caros professores e estudantes de Física!

Estruturamos nosso Produto Educacional (PE) sob o título “Cosmologia Observacional na Educação Básica” na forma de uma Sequência de Ensino-Aprendizagem (SEA), a qual se revela adequada para sustentar o ensino investigativo, uma vez que propicia a exposição de significativa base teórico-conceitual de apoio para o professor e o estudante desenvolverem com sucesso todos os episódios de ensino e de aprendizagem.

Ao longo do desenvolvimento desta SEI, esperamos colaboração mútua entre professor-estudante e estudantes com seus pares. Aqui, o professor é o mediador do conhecimento e o estudante o agente de construção de seu conhecimento.

Na mediação do conhecimento, o professor usa expressões específicas ou termos associados ao conhecimento da Cosmologia Física e Observacional a fim de ampliar o vocabulário dos estudantes. Durante a aula, no decorrer do diálogo, da interação verbal estudante-estudante, o professor poderá intervir para adequar a expressão verbal (oral e escrita) do estudante para o conhecimento próprio da Cosmologia Física e Cosmologia Observacional.

Na SEA há momentos em que é requerido que o estudante explore seu vocabulário e se utilize da linguagem verbal (oral ou escrita) ou a linguagem não verbal (signos visuais como ilustrações, desenhos, código, símbolos).

A composição da SEA conta com cinco (5) encontros/aulas presenciais, as quais são acompanhadas por uma série de atividades integrativas com abordagem no conhecimento elencado no PE (Quadro 1).

Quadro1 – Roteiro com os tópicos dos encontros/aulas do PE

ENCONTRO AULA	TÓPICO ABORDADO	CONHECIMENTO ESPERADO
Primeiro(a)	O início da Aprendizagem: Cosmologia	Diferenciar os conhecimentos científico e empírico para orientar os educandos sobre o significado da Cosmologia e dos instrumentos cosmológicos.
Segundo(a) e Terceiro(a)	Fundamentos da Cosmologia e Modelos Cosmológicos	Analisar as informações e identificar os conceitos desenvolvidos/apreendidos pelos educandos
Quarto(a)	Tecnologias e instrumentos da Cosmologia Observacional: telescópio Hubble em ação	Perceber se os educandos identificam os valores das tecnologias e dos instrumentos da Cosmologia Observacional na construção do conhecimento cosmológico.
Quinto(a)	Funções e inovação do telescópio James Webb	Verificar se os educandos identificar as principais funções/ inovações do James Webb.

Fonte: Elaborado pela professora-pesquisadora.

A escolha da metodologia SEA se sustenta na defesa de Munford e Lima (2007, p. 22) para quem as atividades investigativas requerem “[...] um ensino mais interativo, dialógico, baseado em atividades capazes de persuadir os estudantes a admitirem as explicações científicas para além dos discursos autoritários, prescritivos e dogmáticos”.

Sugere-se que, na aplicação da SEA, sejam formados pequenos grupos de estudantes, no máximo cinco (5), para facilitar o trabalho do professor na coleta de informações pertinentes ao conteúdo trabalhado em cada encontro/aula.

A formação dos grupos deverá ser orientada pelo professor, considerado o tema, os objetivos e o tempo de duração de cada encontro/aula presencial – apresentados, a seguir – segundo a estruturação predefinida para cada um dos encontros/aulas em que ocorre o desenvolvimento do PE conforme estruturado e seguindo o conteúdo proposto: “Cosmologia Observacional na Educação Básica”.

Os desenhos – ilustrações e imagens – que aparecem no nosso PE e que também compõem a parte ilustrativa da Cartilha Educativa foram desenvolvidos pelos estudantes e montados no editor de gráficos vetoriais de código fonte aberto, *Inkscape*. Posteriormente, todos os desenhos criados e os balões de diálogo contendo textos teóricos e/ou com atividades educativas foram colados no processador de textos *Microsoft Word*. Em seguida, foi editado todo o material gráfico. Muitas das imagens que aparecem no PE e na Cartilha Educativa foram extraídas de páginas da *internet* devidamente referenciadas.

2 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO PE

A organização deste Produto Educacional conta com cinco encontros/aulas presenciais. Cada encontro/aula presencial busca proporcionar momentos para apresentação e discussão dos conteúdos programáticos na SEA que contemplam do conhecimento da Cosmologia Observacional acumulado pela humanidade.

2.1 Primeiro encontro/aula

“O INÍCIO DA APRENDIZAGEM SOBRE COSMOLOGIA”

Tema: Cosmologia, o que é?

Objetivos: Sondar o conhecimento da turma sobre a Cosmologia Moderna a partir de diálogos, atividades orais e escritas e da aplicação do pré-teste.

Tempo estimado para a aula: 45 minutos.

Ambiente de aprendizagem: Sala de aula presencial e exploração de dispositivos móveis informatizados para acesso *on-line* a conteúdos e vídeos.

2.1.1 Primeiro momento – introdução

Contextualização do conhecimento prévio sobre o conteúdo inicial da SEA

A palavra Cosmologia provém do grego antigo, sendo originada pela reunião de dois verbetes: *cosmos*, que significa universo, e *logos*, que se traduz como razão ou organização racional [1].

Define-se Cosmologia como uma ramificação da Física, ou seja, a “[...] Ciência que estuda a estrutura, evolução e composição do universo” [2]. Então, a Cosmologia é a Ciência que estuda a evolução e as propriedades físicas do Universo [2].

O principal objetivo da Cosmologia Moderna é entender como o Universo se formou/forma e se organizou/organiza, quais suas principais características observáveis, como poderá ser o Universo no futuro. Assim, busca explicar seu passado, seu presente e seu futuro [3].

A Cosmologia Observacional compõe parte da Cosmologia Moderna e estuda a estrutura, a evolução e a origem do Universo pela observação a partir de instrumentos [7].

A tarefa primordial do cosmólogo é determinar cientificamente a origem do Universo, entender sua possível evolução passada e estimar provável evolução futura [1].

Você que ser um cosmólogo?

2.1.2 Segundo momento – conhecimento prévio

Resgate de conhecimento prévio

Sala de aula presencial – Questionamento Inicial sobre o conhecimento prévio

- a) Alguém sabe explicar o que é Cosmologia? E Cosmologia Observacional?
- b) Já estudaram, em sala da aula, alguns elementos da Cosmologia Moderna?
- c) Será que o conhecimento da Cosmologia Observacional exerce influência sobre a vida diária do ser humano? Sim, não. Por quê?

Estudo on-line – Qual a origem do Universo? Cosmogonia e Cosmologia

Vídeo de 6 minutos: <https://www.youtube.com/watch?v=gyWykEZwhpY>

2.1.3 Terceiro momento – atividade avaliativa em sala de aula presencial (pré-teste).

A partir desta introdução, em uma folha sulfite, são realizadas as atividades avaliativas propostas.

Em poucas palavras, **responda**:

- 1) Como você imagina que ocorreu/ocorre a formação do Universo? Foi por uma explosão, conhecida como *Big Bang*? Foi criado por Deus? Pela reunião de partículas cósmicas? Por outra fonte, qual?
- 2) A partir do que comentamos neste encontro/aula, como você percebe o Universo? Descreva em poucas palavras.

Agora, **por desenho**, represente sua percepção sobre o Universo.

Encerramento do encontro/aula presencial: Recolha da atividade avaliativa.

CONVITE ESPECIAL – atividade extraclasse

Você vai adorar assistir aos episódios da Série “Poeira nas Estrelas”.

Link de acesso: <https://www.youtube.com/user/poeiradasestrelas>

Caro professor!  Sinta-se à vontade para inserir novos questionamentos conforme avança o diálogo com seus alunos sobre a temática em pauta. Algumas sugestões para novas abordagens de conceitos e curiosidade pertinentes ao tema “Universo” estão registradas nos seguintes *links*:

- a) **O nascimento do universo.** Áudio. Tempo: 47 min. Link de acesso: https://www.youtube.com/watch?v=JHAPT_0cs_I
- b) **Planeta Tierra Micro y Macro Cosmos.** Áudio. Tempo: 16min45seg. Link de acesso: <https://www.youtube.com/watch?v=JjCW1Ot9DVU&list=RDJjCW1Ot9DVU&index=1>
- c) **Planeta Tierra Micro y Macro Cosmos.** Áudio. Tempo: 17 min. Link de acesso: <https://www.youtube.com/watch?v=JjCW1Ot9DVU>
- d) **1492 A Conquista do Paraíso.** Filme. Tempo: 2h25min3seg. Link de acesso: <https://www.youtube.com/watch?v=QI24sP65RBE>
- e) **Buraco Negro.** 75 vídeos. Link/acesso: <https://pixabay.com/pt/videos/search/buraco+negro/>

2.2 Segundo e terceiro encontros/aulas

“FUNDAMENTOS DA COSMOLOGIA E MODELOS COSMOLÓGICOS”

Tema: Fundamentos da Cosmologia e Modelos Cosmológicos

Objetivos: Apresentar a noção de Universo como um todo expandido. Conhecer o Princípio Cosmológico Padrão, os Modelos Cosmológicos Padrão e Inflacionário. Pesquisar sobre os principais cientistas que contribuíram para a formulação dos Modelos Cosmológicos e das Teorias Cosmogônicas e Cosmológicas.

Tempo estimado para a aula: 90 minutos.

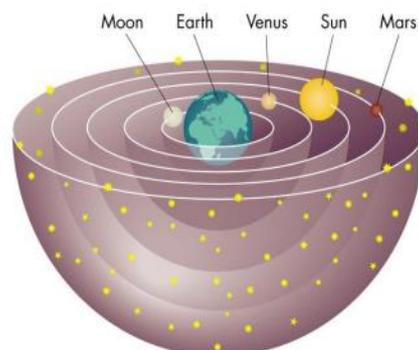
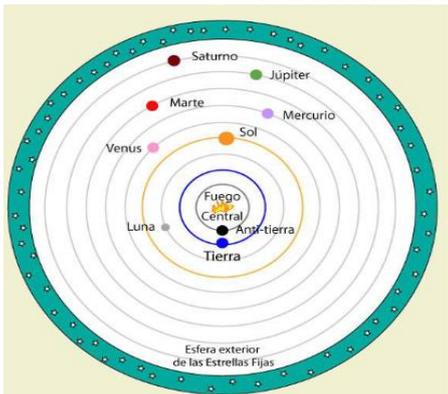
Ambiente de aprendizagem: Sala de aula presencial e exploração de dispositivos móveis informatizados para acesso *on-line* a conteúdos e vídeos.

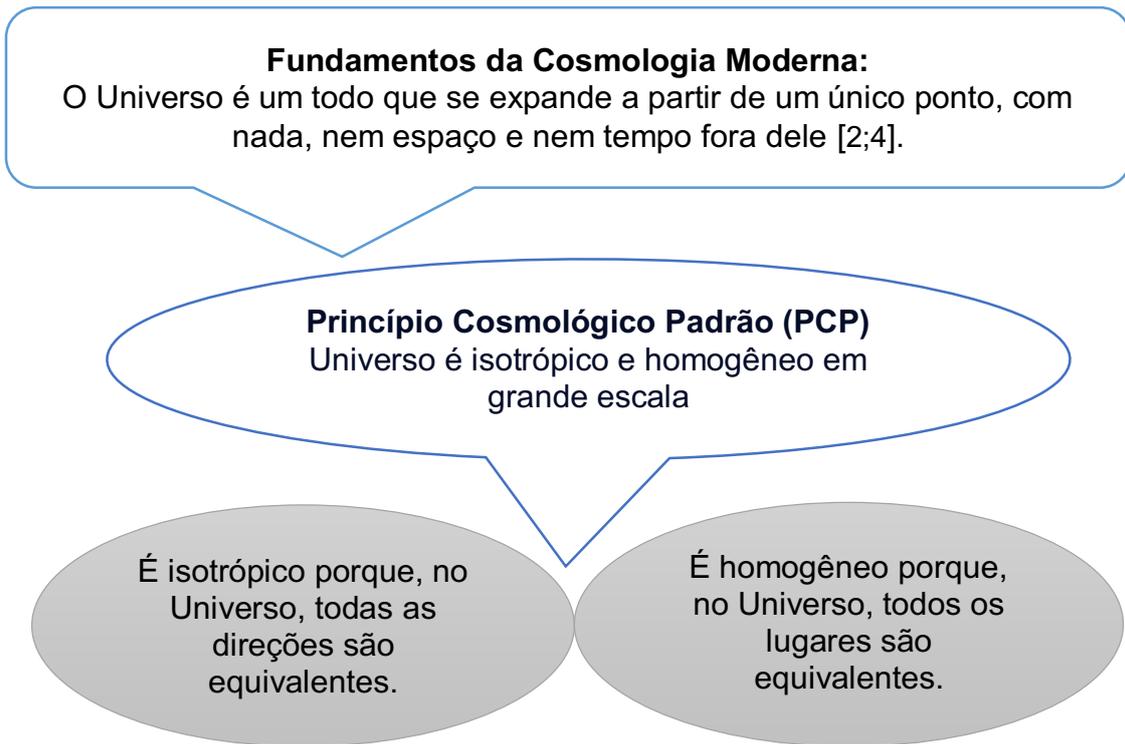
2.2.1 Primeiro momento – apresentação de temas e conceitos pertinentes

Fundamentos da Cosmologia: o Universo em estudo

Fundamentos da Cosmologia Grega:

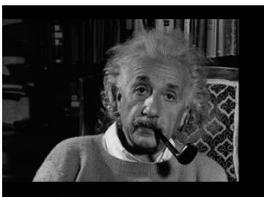
Na Grécia surge o modelo de Universo esférico. Terra era esférica no centro e planetas e estrelas circundavam em uma esfera externa. Entre tais esferas, o planeta Terra se movia de maneira indeterminada [7].





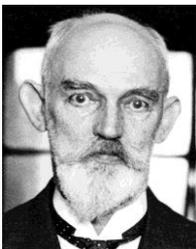
Modelos Cosmológicos.

Como a Cosmologia se preocupa com conceitos, quantidade, número, lugar e espaço, movimento, tempo, qualidades, natureza dos corpos, propriedades da vida e a suas origens, dentre outros, ela precisa de Modelos para representar a estrutura e descrever a evolução do Universo [2].



Modelo Cosmológico de Albert Einstein

O Universo é estático, homogêneo e isotrópico. O espaço é formado com geometria de uma esfera. O espaço é finito, mas sem borda.



Modelo Cosmológico de Willem de Sitter

Primeiro modelo cosmológico relativista dinâmico, onde o Universo é espacialmente plano e em expansão. Porém, mantém a constante cosmológica e se opõe à posição de Albert Einstein de que o Universo deveria ser estático.



Modelo Cosmológico de Alexander Friedmann (Universo em expansão) e Georges Lemaître (hipótese do átomo primitivo e a real expansão do Universo)

O Universo é homogêneo e isotrópico e está sempre em expansão. Tempo global – superfície de simultaneidade.

Modelos Cosmológicos Padrão (MCP)

Descreve a evolução do Universo comandada pela interação gravitacional depois da grande explosão inicial, *Big Bang*, que fornece a energia cinética necessária para atual movimento de expansão do Universo.



Modelos Cosmológicos Inflacionários a partir do modelo de Alan Harvey Guth

Exploram os efeitos quânticos e interações de curto alcance para descrever a dinâmica da grande expansão inicial e a presença de pequenas inomogeneidades que concorrem para originar as grandes inomogeneidades atuais como, por exemplo, os aglomerados de galácticas.

Modelos Cosmológicos Alternativos

Envolvem o estudo da interação entre matéria escura e energia escura na busca por solucionar o problema da coincidência cósmica. Para tal, questiona-se, então, por que atualmente a matéria escura e a energia escura têm valores similares mesmo que entre elas exista considerável variação de tempo?

Caro professor!



Parte da história sobre os modelos cosmológicos pode ser introduzida com auxílio de vídeos. Como sugestão, citam dois vídeos curtos e de fácil acesso *on-line*. Disponíveis em: <https://www.youtube.com/watch?v=NOwe5HkoAeo> (15 minutos) ou <https://www.youtube.com/watch?v=mEhgrF7c4M> (12 minutos). Sugere-se, ainda, breve abordagem para esclarecimento do significado do problema da coincidência cósmica. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RxwK2rL-z68> (14 minutos).

2.2.2 Segundo momento – sistematização do conhecimento

Estudo *on-line* em sala de aula presencial: Teoria de Hubble, expansão do Universo e Modelo Cosmológico Padrão.

a) Idade de universo com a Lei de Hubble, efeitos Doppler, *redshift*,

***blueshift*:** Vídeo 9 minutos:

<https://www.sbfisica.org.br/v1/portalpion/index.php/materiais-didaticos/185-como-sabemos-a-idade-do-universo-com-a-lei-de-hubble>

b) História da terra depois do Big Bang: vídeo de 8 minutos:

Atividade experimental I

Expansão do Universo, o *Big-Bang* e o Modelo Cosmológico Padrão

Objetivo: Identificar e discutir a expansão do Universo

Material: Balões, pincéis atômicos de variadas cores, pedaços de papel, cola e impresso com questões de avaliação.

Procedimento: Em grupos, os estudantes deverão pintar pedaços de papel com várias bolinhas coloridas de diversos tamanhos para representar elementos do universo e colá-los nos balões. Em seguida encher os balões e observar o que acontece com o distanciamento entre as bolinhas coloridas

Questionamento proposto:

O que ocorre com o posicionamento das bolinhas coloridas? Por quê?

Há uma relação entre a expansão do universo e a velocidade das galáxias? Explique.

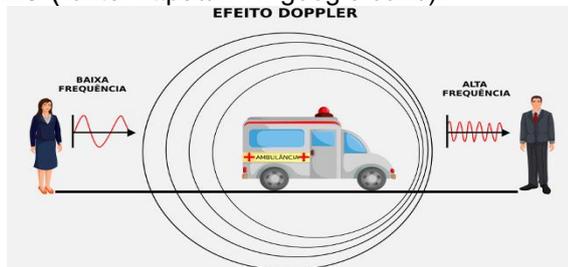
Há uma relação entre a distância e a velocidade das galáxias? Explique.

(i) Elabore uma questão e a resposta sobre o tema deste encontro/aula.

Atividade avaliativa em sala de aula presencial

Complete adequadamente as **lacunas**. Para tal, utilize uma das palavras em destaque para preencher cada lacuna [**aceleração, afastamento, distante, estrelas, expansão, galáxias, maior, menor, próxima, reunido, Universo, velocidade**].

- a) Quanto mais cheio ficava o balão, mais _____ ficavam as bolinhas. Então, quanto maior a ____ do Universo maior será a distância entre as _____.
- (ii) Quanto maior for a distância entre uma galáxia e a Terra, a velocidade de distanciamento dela será _____.
- (iii) Quanto mais _____ uma galáxia se encontra de outra no _____, maior é sua _____ de _____.
- (iv) Em poucas palavras, esclareça como a Lei de Hubble explica a expansão do universo.
- (v) A teoria do efeito Doppler relativa à frequência de uma onda luminosa em movimento é aplicada para a frequência de uma onda sonora em movimento. Veja a figura a baixo (fonte: <https://www.google.com/>).



Então, responda: Qual a relação efeito Doppler versus expansão do universo?

- f) Na Cosmologia Observacional, tem-se claro que, segundo o efeito Doppler, quando uma fonte de onda eletromagnética visível, isto é, uma fonte de luz visível se afasta da Terra em alta velocidade, há aumento do comprimento da onda luminosa em relação a nós, causando desvio para o vermelho: *redshift*. Mas, quando a luz se volta em direção a Terra há redução do comprimento da onda luminosa e o desvio causado se volta para o azul: *blueshift*. Então, o efeito *redshift* significa que o universo está em _____ quando observado o efeito *blueshift* indica que o Universo está _____ do observador.
- g) Tem-se afirmado que ‘expansão’ é um conceito pouco adequado para descrever certos fenômenos observados no Universo. Alguns cosmólogos preferem falar em ‘esticamento’ do Universo. Você acredita que o esticamento do Universo poderá ser eterno, em um espaço finito? Justifique

Caro professor!  Defina um tempo suficiente (≅ 15min.) para que o grupo discuta o questionamento proposto na atividade experimental e responda facilmente às questões avaliativas propostas. Além disso, poderá sugerir outras questões. Fique a vontade!

Encerramento do encontro/aula presencial: Recolha das atividades avaliativas correspondentes ao segundo e terceiro encontros/aulas e breves comentários sobre o tema a ser abordado no próximo encontro: Tecnologias e instrumentos da cosmologia observacional

CONVITE ESPECIAL – atividade extraclasse

Que tal assistir ao filme “Perdido em Marte” na rede Globo no cinema especial. Link de acesso à sinopse e ao trailer oficial desse longametragem:

<https://www.justwatch.com/br/filme/perdido-em-marte>

2.3 Quarto encontro/aula

“TECNOLOGIAS E INSTRUMENTOS DA COSMOLOGIA OBSERVACIONAL”

Tema: Tecnologias e Instrumentos a serviço da Cosmologia Observacional

Objetivos: Conhecer algumas tecnologias e instrumentos usados pela Cosmologia Observacional. Identificar as principais funções e descobertas do telescópio Hubble.

Tempo estimado para a aula: 45 minutos.

Ambiente de aprendizagem: Sala de aula presencial e exploração de dispositivos móveis informatizados para acesso *on-line* a conteúdos e vídeos.

2.3.1 Primeiro momento – apresentação de temas e conceitos pertinentes

Tecnologias e Instrumentos usados pela Cosmologia Observacional



Figure 1 – Evolução dos telescópios



Fonte: Silva, Ferreira, Sousa e Pontes (2013).

Radiotelescópios [7]

Um radiotelescópio consiste em um instrumento para detecção e medição da radiação eletromagnética de radiofrequência.

Radiotelescópio ALMA e Radiotelescópio APEX (Chile), Radiotelescópio FAST (China) e Radiotelescópio do Projeto BINGO (Brasil).



Figure 2 – Radiotelescópio do Projeto BINGO

Sondas espaciais [7]

Sonda espacial é uma nave espacial não-tripulada, utilizada para a exploração remota de outros planetas, satélites, asteroides ou cometas.



Figure 3 – Tipos de sondas espaciais

Satélites artificiais [7]

Um satélite artificial é qualquer corpo feito pelo homem e colocado em órbita ao redor da Terra ou de qualquer outro planeta.

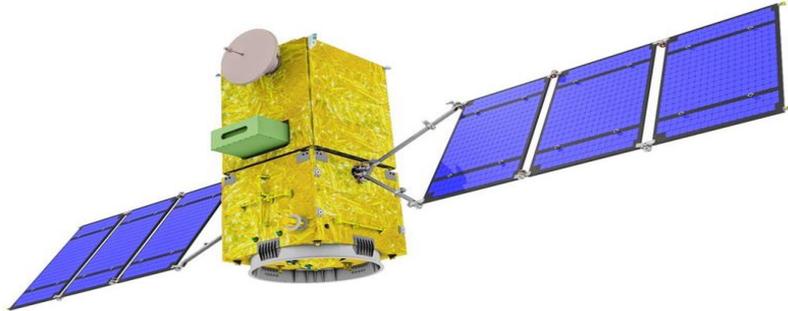


Figure 2 – Satélite artificial brasileiro Amazonia-1 lançado em 2020

Estações orbitais [7]

Uma estação orbital ou estação espacial consiste em grande satélite posto em órbita da Terra, sendo habitada por astronautas vivem e trabalham aí por semanas ou meses.

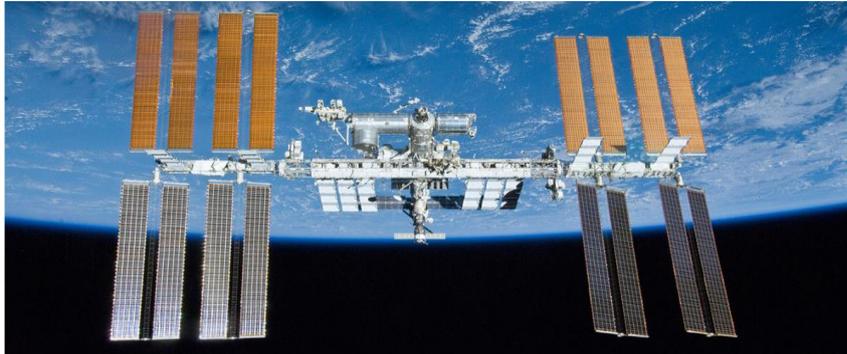


Figure 3– Estação orbital internacional

Telescópio Espacial Kepler – em homenagem a Johannes Kepler [7]

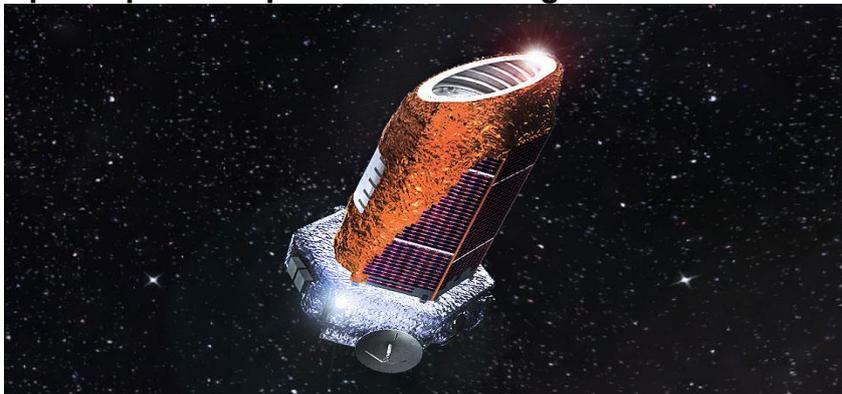


Figure 4– Telescópio espacial Johannes Kepler

O Telescópio Espacial Johannes Kepler é um observatório espacial do tipo refletor projetado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) que permaneceu em perseguição à órbita solar da Terra entre 2009 a 2018.

Objetivo: procurar planetas com características habitáveis fora do Sistema Solar.

Posicionamento: 151.587.522 quilômetros

Resultado/descoberta: milhares de exoplanetas, mas apenas 161 são sólidos [7].

Telescópio Espacial HUBBLE – em homenagem a Edwin Hubble [7]



Figure 5 – Telescópio especial Hubble

O **objetivo** do Telescópio Espacial Hubble é investigar a composição e as características físicas de corpos celestes, observar galáxias e estrelas para levantar dados para a melhor compreensão sobre a história e a evolução do Universo.

Sua importância: Orbitou a Terra para a captação de imagens de um ponto fora da atmosfera terrestre desde 24 de abril de 1990, tendo sido lançado na Estação Kennedy, na Ilha de Merritt, Flórida, Estados Unidos da América (EUA), pela NASA, sendo projetado entre 1970-1980.

Suas características principais:

- é um telescópio do tipo reflexão, tendo como principal elemento um espelho de 2,4 metros de diâmetro (2,4m).
- está posicionado na órbita da Terra a 600 quilômetros (600km) da superfície terrestre.
- seu período de translação ao redor da Terra é de 95 minutos e 5 segundos (95min 05 seg.) a uma velocidade média de 28 mil quilômetros por hora (28.000 km/h), que alcança 14 volta em torno da Terra em 24 horas (24h)
- sua fonte de energia é a energia solar, captada por painéis solares de aproximadamente 30 metros quadrados (30m²).
- possui uma massa de 11.600 quilogramas (11.600kg).
- seu comprimento é de 13,2 metros (13,2m).

Seus principais resultados ou descobertas:

- gerou imagens de mais de 1500 galáxias, nebulosas, quasares e outros fenômenos com detalhes, o que revela ser o Universo imenso.
- observou uma explosão de raios gama enquanto acontecia e revelou o evento cósmico causador de tal explosão.
- registrou em tempo real imagens da colisão de um cometa com Júpiter.
- localizou o gás carbônico (CO₂) na superfície do exoplaneta HD 189733b, que é um planeta extrassolar gigante, parecido com Júpiter.

- e) identificou outros planetas fora do Sistema Solar.
- f) capturou imagens de colisão entre galáxias na constelação de Boötes.
- g) detectou buracos negros supermassivos
- h) confirmou que o Universo tem cerca de 13,7 bilhões de anos.
- i) analisou a atmosfera de um planeta fora do nosso Sistema Solar.
- j) observou o comportamento da matéria escura e a expansão do universo [7].

2.3.2 Segundo momento – atividades de sistematização do conhecimento

Discussão em grande grupo na sala de aula presencial

- a) Quais grupos pesquisaram sobre a teoria cosmológica de Johannes Kepler e a teoria cosmológica de Edwin Hubble?
- b) Quem gostaria de falar sobre a síntese elaborada da teoria cosmológica de Johannes Kepler? E agora sobre a teoria de Edwin Hubble?
- c) Grupo! As descobertas desses cientistas justifica a escolha de seus nomes para os telescópios que estudamos agora? Sim, não, por quê?
- d) Há quem diga que a mais expressiva diferença entre os telescópios de Kepler e de Hubble não está especificamente nas tecnologias utilizadas, mas consiste na sua localização/distância e posicionamento no espaço. Quem concorda com esta explicação se manifeste? Quem sabe explicar em lugar do Universo se posicionou o telescópio espacial Kepler? E por quê?
- e) Considerada a opinião de cada aluno, qual foi a mais importante descoberta revelada pelo telescópio Hubble?

2.3.3 Terceiro momento – Sintetização do conhecimento aprendido

Atividade avaliativa em sala de aula presencial, distribuída na forma impressa.

Temas avaliados: Tecnologias e instrumentos da Cosmologia Observacional significado atribuído para nebulosas e quasares.

Atividade proposta: Verifique se cada alternativa proposta é verdadeira (V) ou falsa (F). Ao final da atividade JUSTIFIQUE a alternativa que julgou ser FALSA.

Lembre que você pode errar apenas uma alternativa e, mesmo assim, alcançar a máxima pontuação.

1. () Um telescópio é um instrumento ótico que serve para o ser humano observar e mensurar objetos longínquos, por isso é diferente de uma luneta astronômica.
2. () Tecnicamente semelhante ao telescópio, a sonda espacial é uma nave espacial não-tripulada que é útil para, remotamente, explorar planetas, satélites, cometas ou asteroides.
3. () Entende-se por satélite artificial qualquer corpo feito pelo homem e colocado em órbita ao redor da Terra ou de qualquer outro planeta.
4. () A Lei de Hubble leva à conclusão de que o Universo está sempre em expansão.
5. () O Telescópio Espacial Kepler se posicionou na órbita solar da Terra para ficar distante das luzes terrestres e para que o Planeta Terra não ocultasse as estrelas que estavam sendo observadas.
6. () Em comparação com o Telescópio Espacial Kepler uma das diferenças tecnológicas do Telescópio Espacial Hubble é o diâmetro de seu espelho.
7. () Um radiotelescópio utiliza uma grande antena do formato parabólico para permitir a captação das ondas de rádio.
8. () O Telescópio Espacial Kepler descobriu milhares de exoplanetas, enquanto que o Telescópio Hubble não identificou nenhum planeta fora do Sistema Solar.
9. () O ALMA e APEX são dois potentes radiotelescópios instalados no Chile.
10. () Uma estação orbital consiste em uma estrutura construída com a finalidade de permitir a permanência humana no espaço.
11. () O Telescópio Espacial Kepler observou que há matéria escura no Universo, a qual foi, posteriormente, definida e confirmada pelo Telescópio Espacial Hubble.

Encerramento do encontro/aula: Recolha da atividade avaliativa, incentivo à pesquisa *on-line* sobre o Telescópio Espacial James Webb. Link sugerido:

https://webbtelescope-org.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc.

Caro professor!



Caso perceba dificuldades da turma para responder a atividade avaliativa proposta, oportunize momento para revisão sobre o conteúdo: tecnologia e instrumentos da Cosmologia Observacional.

2.4 Quinto encontro/aula

“TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB: CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES”

Tema: Telescópio Espacial James Webb, características e funções na ótica da Cosmologia Observacional e sondagem da aprendizagem no pós-teste.

Objetivos: Identificar as características e funções do Telescópio Espacial James Webb. Realizar a avaliação final no pós-teste para sondagem da aprendizagem.

Tempo estimado para a aula: 45 minutos.

Ambiente de aprendizagem: Sala de aula presencial e exploração de dispositivos móveis informatizados para acesso *on-line* a vídeos.

2.4.1 Primeiro momento – apresentação do tema da aula

Caracterização do Telescópio Espacial James Webb (em inglês: *James Webb Space Telescope* ou JWST).

Telescópio Espacial James Webb – em homenagem a James Edwin Webb [7]

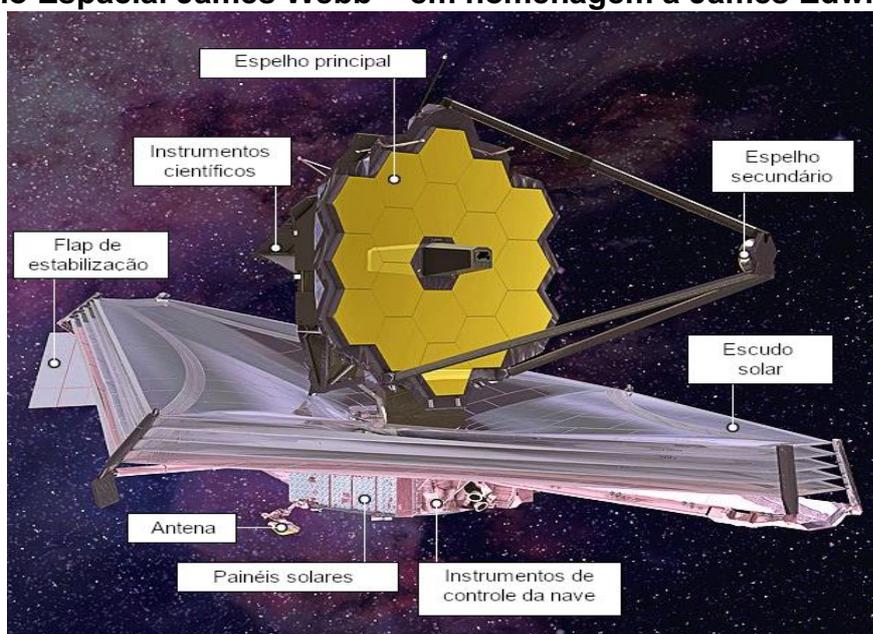


Figure 6 – Telescópio espacial James Webb

O Telescópio Espacial James Webb (JWST) representa um esforço científico na busca por respostas a inúmeras questões que envolvem a Cosmologia Observacional [3; 7].

A concepção tecnológica e operacional do JWST se baseia no legado dos telescópios espaciais antecessores para expandir os limites do conhecimento humano sobre o Universo, em particular, quanto à formação das primeiras galáxias e ao horizonte de outros mundos [3; 5].

A **missão** do JWST, lançado no espaço em 25 de dezembro de 2021, é examinar a radiação infravermelha resultante da grande expansão – *Big Bang* – e realizar observações sobre a infância do Universo.

Objetivo: colocar um observatório no espaço para captar a radiação infravermelha, observar a formação das primeiras galáxias e estrelas, estudar a evolução das galáxias e verificar os processos de formação de estrelas e planetas.

Importância: substituição parcial das funções dos Telescópios Espaciais Hubble e Spitzer – em homenagem ao astrofísico estadunidense Lyman Spitzer –, sendo o único telescópio espacial capaz de caracterizar as atmosferas de exoplanetas do tamanho da Terra.

Características principais:

- a) É um telescópio do tipo refletor para reflexão da luz.
- b) Seu principal elemento é um espelho primário de 6,5 metros de diâmetro que serve para capturar e refletir a luz, sendo composto por 18 espelhos hexagonais menores, feitos de berílio (metal alcalino-terroso) e revestidos com ouro (metal alcalino-terroso).
- c) Possui equipamento para a captação da radiação infravermelha, a qual é invisível aos olhos humanos.
- d) Opera em uma órbita de halo e circula em torno de um ponto no espaço que constitui o segundo ponto Sol-Terra de Lagrange L2.
- e) Posiciona-se ao redor do Sol cerca de aproximadamente 1.500.000 km para além da órbita da Terra.
- f) Enquanto orbita, a uma velocidade de próxima a um bilhão de quilômetros por hora, sua posição orbital varia entre 250.000 km a 832.000 km da L2 e se mantém fora da sombra da Terra e da Lua.
- g) O dispositivo de bloqueio dos efeitos da luz e do calor mantém o Sol, a Terra e a Lua no mesmo lado da espaçonave em tempo integral.
- h) Mantém a temperatura da espaçonave constante e abaixo de -222 °C a fim de realizar observações infravermelhas fracas.

Principais descobertas:

- a) Identificação de uma segunda estrela moribunda na Nebulosa do Anel Sul e visualizou o Quinteto de Stephan, um conjunto de galáxias;
- b) Observações revelam as primeiras fases de formação estelar na Nebulosa Carina. Observou evidências sobre a existência de água, neblinas e nuvens em um exoplaneta quente, conhecido como WASP-96b.
- c) Revelação de fortes indícios da maneira como as galáxias interagem e desencadeiam a formação de estrelas a partir da exploração de conchas de poeira e de gás de estrelas envelhecidas [6; 7].

2.4.2 Segundo momento – atividades de sistematização do conhecimento

Discussão em grande grupo na sala de aula presencial

- a) Na aula anterior foram convidados para, em grupo ou individualmente, assistirem vídeos sobre peculiaridades do Telescópio Espacial James Webb a fim de observarem suas possíveis semelhanças/diferenças com o Telescópio Espacial Hubble. Quem poderia listar pelo menos uma semelhança existente entre os dois telescópios? E uma diferença entre eles?
- b) Qual é a missão do Telescópio Espacial James Webb?
- c) O que mais chamou sua atenção quando ouviu um dos vídeos recomendados sobre o Telescópio Espacial James Webb?

2.4.3 Terceiro momento – sintetização do conhecimento e etapa de *feedback*

Atividade avaliativa e pós-teste em sala de aula presencial.

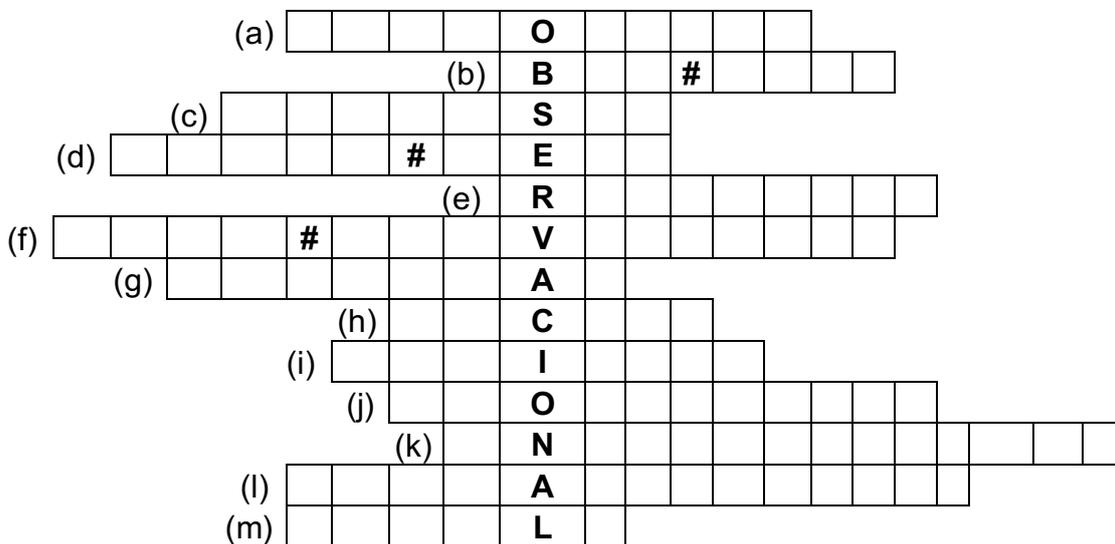
Atividade avaliativa: realizada individualmente a partir da leitura das questões impressas e distribuídas em uma folha sulfite, contendo espaço em branco para a identificação do estudante.

Caro estudante! Nessa folha há um conjunto de palavras embaralhadas que formam conceitos e uma série de questões úteis para você revelar seu conhecimento sobre o conteúdo de Cosmologia Observacional contemplado em nossos encontros/aulas presenciais.

Vamos completá-la?

- 1) Leias as questões, encontre suas respostas a partir do conhecimento que juntos construímos e, por fim, complete corretamente a cruzadinha.
 - a) Campo da Física que estuda a estrutura, a evolução e a origem do Universo.
 - b) Um das teorias cosmológicas que explica o desenvolvimento inicial do Universo.
 - c) Principal característica do comportamento do Universo mantida ao longo de bilhões de anos.
 - d) Telescópio espacial posicionado ao redor do Sol a uma distância de 1,5 milhões de quilômetros para além da órbita da Terra.
 - e) Fenômeno cosmológico observado decorrente da expansão do espaço-tempo do Universo.
 - f) Cientista que desenvolveu a teoria inflacionária do Universo, dando origem a um dos modelos cosmológicos inflacionários.

- g) Gigantescos sistemas que se observa no Universo é que é formados por bilhões de estrelas.
- h) O universo é formado por grande quantidade de matéria de natureza desconhecida (26,8%) denominada de matéria:
- i) Tipo de onda que serve para explicar a distância que uma galáxia está posicionada em relação ao observador que está na Terra
- j) O Telescópio Espacial Kepler descobriu milhares de planetas fora do Sistema Solar, os quais denominados de:
- k) Componente do Universo de maior expressão (68,3%) em todo o seu espaço e que tende a acelerar sua expansão.
- l) O estudo da interação entre matéria energia escura para encontrar a solução do problema da coincidência cósmica é atribuição dos modelos cosmológicos conhecidos como:
- m) Telescópio Espacial do tipo refrator que registrou, em tempo real, várias imagens da colisão de um cometa com o Planeta Júpiter.



2) Vamos refletir sobre a veracidade ou não destas duas afirmativas, elaboradas a partir da leitura da Teoria do Universo em Expansão de Edwin Hubble. Lembre-se de nossa experiência com o balão para representar o Universo e seus componentes e sua expansão.

- (I) O Universo está se expandindo e quanto mais distante da Terra mais rapidamente as galáxias se afastam da Via Láctea. Então, é possível deduzir que há aumento do tamanho da Via Láctea em relação a outras galáxias.
- (II) Pode-se afirmar que quanto mais distante uma galáxia está da Terra, mais rápido essa galáxia se afasta de nós, isto porque nossa Via Láctea está posicionada no centro do Universo.

Bem agora, responda: Partes dessas afirmativas são totalmente verdadeiras e outras são falsas. Sim ou Não? Você poderia tornar tais afirmativas totalmente verdadeiras

ou totalmente falsas? É só reescrevê-las totalmente verdadeira ou totalmente falsa com tuas próprias palavras.

Possível forma de reescrita totalmente verdadeira:

(i) [...] Então, é possível deduzir que há constantemente aumento da **distância** da Via Láctea em relação a outras galáxias. (ii) [...] isto porque nossa Via Láctea está posicionada no Universo, **e ele não tem centro algum**.

- 3) Lembra-se das respostas que você registrou nas primeiras questões durante o nosso primeiro encontro sobre o conteúdo de Cosmologia. Vamos repetir tais questões agora?
- a) Como você imagina que ocorreu/ocorre a formação do universo? Por uma explosão – *Big Bang*? Foi criado por Deus? Pela reunião de partículas cósmicas? Por outra fonte, qual?
 - b) A partir do que estudamos até agora, como hoje você percebe o Universo?
 - c) Agora, **por desenho**, represente sua atual percepção sobre o Universo.

Encerramento do encontro/aula: Recolha da atividade avaliativa e encerramento das atividades propostas no PE.

Caro professor!



Pelo fato deste Produto Educacional visar sondar a evolução da aprendizagem, a terceira atividade avaliativa proposta contém as mesmas questões apresentadas no primeiro encontro/aula presencial.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na elaboração da SEA aplicada especificamente neste PE foram previstos e desenvolvimento de cinco (5) encontros/aulas em sala presencial física de quarenta e cinco minutos (45 min.) cada um.

Durante os encontros/aulas presenciais físicos exploraram-se materiais pedagógicos, sustentados pela Cartilha Educativa, e instrumentos de mensuração do conhecimento prévio e da aprendizagem adquirida a partir da aplicação da SEA/PE em sala de aula do Ensino Médio.

Em futuras aplicações deste PE, em contexto de sala de aula presencial física no Ensino Médio, o professor poderá optar pela adoção integral da Cartilha Educativa e da SEA propostas e testadas, ou, então, proceder as adaptações específicas para atender sua organização didática sem que, necessariamente, sua prática pedagógica seja apoiada integralmente pela SEA/Cartilha Educativa.

Trata-se, por exemplo, da atividade experimental proposta para abordagens sobre os conceitos de expansão do Universo, *Big-Bang* e Modelo Cosmológico Padrão, desenvolvida no terceiro momento do segundo/terceiro encontros/aulas presenciais que, por ser uma atividade de fácil compreensão, poderá ser aplicada até mesmo nos anos finais do Ensino Fundamental. Isso porque os conceitos de expansão do Universo e de *Big-Bang*, ainda que seja importante abordá-los separadamente, em grande medida, na prática experimental, tais conceitos se revelam complementares, o que permite fácil compreensão.

Outra questão importante para ser registrada diz respeito à dinâmica da pesquisa *on-line* associada ao uso de aparelhos tecnológicos móveis de propriedade de cada estudante para acesso à *internet*. Porém, para futuras aplicações da SEA/PE poderá ser explorado o ambiente do Laboratório da Informática da instituição de ensino para essa finalidade.

A associação da Cartilha Educativa com exploração da SEA na aplicação do PE sobre os conteúdos de Cosmologia e Cosmologia Observacional, trabalhados nos encontros/aulas, representa importante estratégia didática, em especial pela possibilidade de manuseio e consulta antes e durante as discussões possibilitadas no desenrolar de cada encontro/aula.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular para o ensino médio** – BNCC. Brasília: MEC/ Secretaria de Educação Básica, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. **PCN + ensino médio**: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais – ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2002.
- HENRIQUE, A. B. **Discutindo a natureza da ciência a partir do episódio da história da cosmologia**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de Física da Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2011.
- FERREIRA, T. A. **Testes observacionais complementares na restrição de modelos cosmológicos com interação no setor escuro**. Dissertação (Mestrado em Física), Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2016.
- FERREIRA, E. G. M. Aula 2. **A expansão do universo**: modelo cosmológico padrão e a história térmica do universo. 2022. Disponível em: <https://lambdadps.github.io/jayme/2022/pdf/Cosmo2022Aula2.pdf>. Acesso em:
- MACEDO, G. L. N. **Curso de cosmologia – I: astrofísica para todos**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2022. Disponível em: <https://astrofisica.ufsc.br/curso-de-cosmologia/cosmologia1/>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- MENEZES, L. C. (Coord.). Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. In: BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais do ensino médio**: PCN. Brasília: MEC/SEMT, 1998. Parte III, p. 1-58.
- MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. C. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 89-111. 2007.
- NAHRA, S. **Telescópio espacial James Webb**: veja o que é e suas descobertas. 2023. Disponível: <https://querobolsa.com.br/enem/fisica/telescopio-espacial-james-webb>. Acesso em: 15 maio 2023.
- RIBEIRO, M. B.; VIDEIRA, A. A. P. Cosmologia: uma ciência especial? Algumas considerações sobre as relações entre a cosmologia moderna, filosofia e teologia. In: CRUZ, E. R. (Org.). **Teologia e ciências naturais**. São Paulo: Paulinas. Cap. VII, p. 162-97, 2011.
- ROSENFELD, R. A cosmologia. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 31-7, 2005, p. 31.
- SAGAN, C. **Cosmo**. Tradução de Paulo Seiger. São Paulo: Companhia das Letras, 2014.
- SARAIVA, M. F.; OLIVEIRA FILHO, K. S.; MÜLLER, A. M. **Aula 26**: expansão do universo. 2010. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula26-132.pdf>. Acesso em: 12 maio 2023.

WEBB SPACE TELESCOPE. **Home page**. 2023. Disponível em: https://webbtelescope-org.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc. Acesso em: 12 maio 2023.

YOUTUB. **O que está além do universo?** Descoberta chocante. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mjKTg3l79es>. Acesso em: 4 maio 2023.

WIKIPÉDIA: Tecnologias e instrumentos da cosmologia observacional. **Links de acesso**, acessados em: entre 8 março a 19 outubro. 2023.

https://pt.wikipedia.org/wiki/Amazonia_1
https://pt.wikipedia.org/wiki/Cosmologia_observacional
http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_telescope
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio>
http://en.wikipedia.org/wiki/Refractor_telescope
http://en.wikipedia.org/wiki/Reflecting_telescope
http://en.wikipedia.org/wiki/Catadioptric_system#Catadioptric_telescopes
[http://www.infopedia.pt/\\$radiotelescopio](http://www.infopedia.pt/$radiotelescopio)
http://en.wikipedia.org/wiki/Atacama_Large_Millimeter_Array
http://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau_Cop%C3%A9rnico
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Nasa>
http://pt.wikipedia.org/wiki/Sondas_espaciais
http://pt.wikipedia.org/wiki/Pioneer_10
http://pt.wikipedia.org/wiki/Voyager_1
https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_espacial_Hubble
http://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_Espacial_Internacional
https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_espacial_Spitzer
https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_Espacial_Kepler
http://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_espacial
http://pt.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_artificial

REFERÊNCIAS DOS 'BALÕES' DA SEA/PE

- [1] MACEDO, G. L. N. **Curso de cosmologia – I: astrofísica para todos**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2022. Disponível em: <https://astrofisica.ufsc.br/curso-de-cosmologia/cosmologia1/>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- [2] ROSENFELD, R. A cosmologia. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 31-7, 2005, p. 31.
- [3] WEBB SPACE TELESCOPE. **Home page**. 2023. Disponível em: https://webbtelescope-org.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc. Acesso em: 12 maio 2023.
- [4] SARAIVA, M. F.; OLIVEIRA FILHO, K. S.; MÜLLER, A. M. **Aula 26: expansão do universo**. 2010. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=Aula+26%3A+Expans%C3%A3o+do+Universo&oq=Aula+26%3A+Expans%C3%A3o+do+Universo&aqs=chrome..69i57.672j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. Acesso em: 12 maio 2023.
- [5] NAHRA, S. **Telescópio espacial James Webb**: veja o que é e suas descobertas. 2023. Disponível: <https://querobolsa.com.br/enem/fisica/telescopio-espacial-james-webb>. Acesso em: 15 maio 2023.
- [6] **O que está além do universo?** Descoberta chocante. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mjKTg3I79es>. Acesso em: 4 maio 2023.
- [7] WIKIPÉDIA: Tecnologias e instrumentos da cosmologia observacional. **Links de acesso**, acessados em: entre 8 março a 19 outubro. 2023.
https://pt.wikipedia.org/wiki/Amazonia_1
https://pt.wikipedia.org/wiki/Cosmologia_observacional
http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_telescope
http://en.wikipedia.org/wiki/Refractor_telescope
[http://www.infopedia.pt/\\$radiotelescopio](http://www.infopedia.pt/$radiotelescopio)
https://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_Espacial_Internacional
http://en.wikipedia.org/wiki/Atacama_Large_Millimeter_Array
http://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu_Galilei
http://pt.wikipedia.org/wiki/Sondas_espaciais
http://pt.wikipedia.org/wiki/Pioneer_10
http://pt.wikipedia.org/wiki/Voyager_1
https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_espacial_Hubble
https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_espacial_Spitzer
https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_Espacial_Kepler
http://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_espacial
http://pt.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_artificial
- [8] SAGAN, C. **Cosmo**. Tradução de Paulo Seiger. São Paulo: Companhia das Letras, 2014.

APÊNDICE – Cartilha Educativa

CARTILHA EDUCATIVA



COSMOLOGIA OBSERVACIONAL NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Autores

Ana Paula Winter

Professora Vinculada à Secretaria Estadual de Educação do Paraná (SEED/PR).
Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira, Paraná, no Curso de Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Fabricio Tronco Dalmolin

Professor Adjunto na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Câmpus de
Medianeira. Graduado em Física pela Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do
Sul, mestrado e doutorado em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São
José dos Campos, São Paulo.

AGRADECIMENTOS

À Diretora Geral e à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná (UTFPR), *Câmpus* Medianeira, respectivamente, professor Dr. Cláudio Leones Bazzi e professora Dr^a Giovana Clarice Poggere, pela oportunidade de frequência ao Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), ofertado pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 – na realização desta Cartilha.

À Direção do Colégio Estadual Cívico Militar Tancredo Neves Ensino Fundamental e Médio por permitir a aplicação do Produto Educacional e exploração do conteúdo de Física presente na nossa Cartilha Educativa: cosmologia observacional na educação básica.



Fonte: Google imagem

APRESENTAÇÃO

Esta Cartilha Educativa foi idealizada e elaborada conjuntamente pela mestrandia Ana Paula Winter e por seu professor Orientador, Dr. Fabricio Tronco Dalmolin, durante o Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira-PR.

A ideia que motiva sua elaboração é a oferta de um instrumento de estudo para o estudante que possa auxiliar o professor em suas abordagens sobre os conteúdos curriculares de Física no Ensino Médio, particularmente quanto à Cosmologia Observacional. Nesse sentido, a Cartilha Educativa aborda o conhecimento básico da Cosmologia Observacional de forma simples e estruturado pedagogicamente a fim de torná-lo acessível.

A elaboração e divulgação da Cartilha Educativa conta com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Medianeira, conjuntamente com a direção do Colégio Estadual Cívico Militar Tancredo Neves e dos estudantes da 1ª série do Ensino Médio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição do universo.....	10
Figura 2 – História da evolução do Universo.....	21
Figura 3 – Universos na concepção dos povos antigos babilônios	26
Figura 4 – Universo na concepção dos antigos hindus	27
Figura 5 – Antiga cosmologia grega	29
Figura 6 – Modelo cosmológico relativista dinâmico (charge)	32
Figura 7 – História térmica do universo	34
Figura 8 – Mapa com as flutuações de temperatura da RCF medida pelo satélite WMAP	34
Figura 10 – Evolução dos telescópios.....	39
Figura 11 – Telescópio refrator.....	40
Figura 12 – Réplica do segundo telescópio refletor de Newton	41
Figura 13 – Cardioscópio	41
Figura 14 – Radiotelescópio ALMA.....	43
Figura 15 – Radiotelescópio APEX	44
Figura 16 – Radiotelescópio BINGO	44
Figura 17 = Imagem da sonda especial Voyager 1	46
Figura 18 – Satélite artificial	46
Figura 19 – Estação espacial internacional	47
Figura 20 – Imagem do robô de exploração <i>Spirit</i> (MER-A).....	49
Figura 21 – Imagem do robô de exploração <i>Opportunity</i> (MER-B)	49
Figura 22 – Imagem do telescópio espacial Hubble.....	51
Figura 23 – Telescópio especial Johannes Kepler	54
Figura 24 – Telescópio Espacial James Webb	56
Figura 25 – Satélite COBE	60
Figura 26 – Observatório em Monte Wilson nos Estados Unidos da América ..	61
Figura 27 – Observatório em Monte Palomar nos Estados Unidos	61
Figura 28 – Observatório do Pico dos Dias em Minas Gerais, Brasil	62

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	7
CAPÍTULO 2 - COSMOLOGIA MODERNA	14
CAPÍTULO 3 – A ORIGEM DE UNIVERSO NA COSMOLOGIA MODERNA	16
3.1 Hipótese da gravidade quântica em <i>Loop</i>	17
3.2 Hipótese M OU Teoria M	17
3.3 Hipótese da Seleção Natural Cosmológica	18
3.4 Hipótese do Universo Oscilante.....	19
3.5 Hipótese do <i>Big Bang</i>	19
3.6 Lei de Hubble, Efeitos Doppler, <i>Redshift</i> e <i>Blueshift</i> Cosmológicos	22
CAPÍTULO 4 – FUNDAMENTOS DA COSMOLOGIA E OS MODELOS COSMOLÓGICOS	25
4.1 Fundamentos da Cosmologia Antiga	25
4.2 Fundamentos da Cosmologia Moderna	29
4.3 Princípio Cosmológico	29
4.4 Modelos Cosmológicos – Padrão e Alternativos.....	30
4.1.1 Modelo cosmológico de Albert Einstein	E
RRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
4.1.2 Modelo cosmológico de Willem de Sitter	31
4.1.3 Modelo cosmológico de Alexander Alexandrovich Friedmann e Georges Henri Joseph Édouard Lemaître	32
4.1.4 Modelo Cosmológico Padrão (MCP).....	33
4.1.5 Modelos Cosmológicos Inflacionários	35
4.1.6 Modelos Cosmológicos Alternativos.....	36
CAPÍTULO 5 – TECNOLOGIAS E INSTRUMENTOS DA COSMOLOGIA OBSERVACIONAL	39
5.1 Telescópio ou Luneta Astronômica	39
5.2 Telescópios Ópticos	40
5.3 rádiotelescópios	42
5.4 Sondas Espaciais	45
5.5 Satélites Artificiais	46
5.6 Estações Orbitais	47
5.7 Robôs de Exploração.....	48

5.8 Telescópios Espaciais	50
5.9.1 Telescópio Espacial Hubble	51
5.9.2 Telescópio Espacial Kepler	53
5.9.3 Telescópio Espacial James Webb (Jwst)	55
5.10 Satélites, Sonda e Instrumentos da Cosmologia Observacional	60
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE A – QUADRO SÍNTESE	67

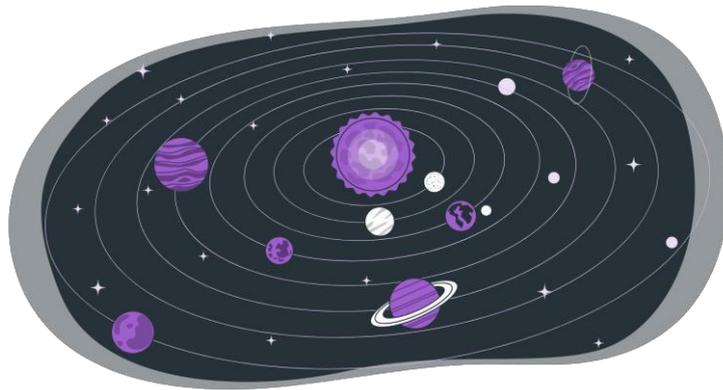
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

“O conhecido é finito, o desconhecido, infinito; intelectualmente estamos numa ilhota no meio de um oceano ilimitado de inexplicabilidade. Nossa função em cada geração é reivindicar um pouco mais de terra firme”.

Thomas Henry Huxley (1887).



A humanidade sempre se interessou pela origem do Universo. Em todas as épocas, desde idos tempos, entre todos os povos e civilizações que viveram/vivem no Planeta Terra sempre surgiram/surgem tentativas de explicar a origem do Universo e de todos seus 'segredos', muitos dos quais conhecemos hoje.



Em épocas remotas, a religião e a mitologia eram as principais fontes de busca para desvendar a origem e os 'segredos' do Universo. É bem verdade que tais fontes se firmavam em certas visões sobre a origem do Universo que, apesar do avanço da Ciência a partir do século XX, ainda permanecem associadas a um ou a vários mitos e deuses especialmente com a função de criadores de seres vivos no Planeta Terra.



Como exemplo, transcrevemos uma lenda indígena do povo *nheengatu* – falante da língua conhecida como tupi moderno – vivente na Amazônia brasileira.



No princípio, contam, havia só água, céu.

Tudo era vazio, tudo noite grande.

Um dia, contam, Tupana desceu de cima no meio de vento grande, quando já queria encostar na água saiu do fundo uma terra pequena, pisou nela.

Nesse momento Sol aparece no tronco do céu, Tupana olhou para ele.

Quando Sol chegou no meio de céu seu calor rachou a pela de Tupana, a pela de Tupana começou logo a escorregar pelas pernas dele abaixo. Quando Sol ia desaparecer para o outro lado do céu a pela de Tupana caiu do corpo dele, estendeu-se por cima da água para já ficar terra grande.

No outro Sol [no dia seguinte] já havia terra, ainda não havia gente.

Quando o Sol chegou no meio do céu Tupana pegou em uma mão cheia de terra, amassou-a bem, depois fez uma figura de gente, soprou-lhe no nariz, deixou no chão. Essa figura de gente começou a engatinhar, não comia, não chorava, rolava à toa pelo chão. Ela foi crescendo, ficou grande como Tupana, ainda não sabia falar.

Tupana ao vê-lo já grande, soprou fumaça dentro da boca dele, então começou já querendo falar. No outro dia Tupana soprou também na boca dele, então, contam que ele falou. Ela falou assim:

- Como tudo é bonito para mim! Aqui está água com que hei de esfriar minha sede. Ali está o fogo do céu com que hei de aquecer meu corpo quando ele estiver frio. Eu hei de brincar com água, hei de correr por cima da terra, como o fogo do céu está no alto, hei de falar com ele aqui de baixo.

Tupana, contam, estava junto dele, ele não viu Tupana.

Fonte: Martins (2012, p. 4).



Entre outros povos da antiguidade há registro de um mito babilônico que contempla a origem de tudo é o *Enuma elis*, e que, possivelmente, tenha sido criado há mais de quatro mil anos. Nesse mito há uma unidade primitiva e uma mistura de águas anteriores a todos os deuses, incluindo o deus Marduk – Marduque ou Merodaque – referido na Bíblia. Essa unidade e essa mistura das águas buscam explicar a origem do Universo. Assim, transcrito:

*Quando no alto o céu [Anshar] ainda não tinha sido nomeado,
e em baixo a terra [Kishar] ainda não tinha nome,
nada existia senão um mistura das águas,
de Apsu, o oceano primordial, o gerador,
e da tumultuosa Mammu-Tiamat, a água doce, a mãe de todos.*

*Então as trevas eram profundas,
um tufão movia-se sem repouso.*

Então nenhum deus havia sido criado.

Nenhum nome havia sido nomeado,

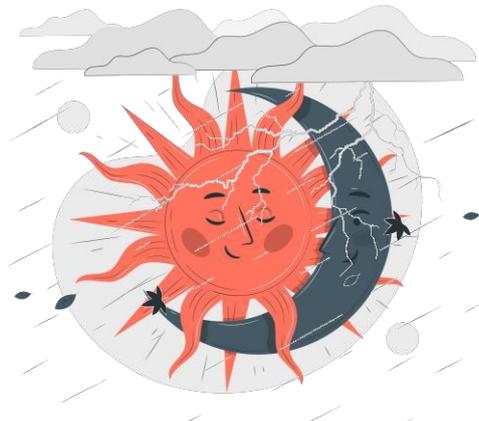
Nenhum destino havia sido fixado.

Fonte: Martins (2012, p. 7).

Contudo, diante do despontar do pensamento filosófico a partir da Grécia Antiga, em meados do século VI a. C, surgem novas ideias que, em consequência, colocam em dúvida a tradição religiosa e mitológica, o que, ao longo dos séculos, acaba por interferir na forma de pensar sobre a origem do Universo e a origem da própria humanidade.¹ E, aos poucos, o pensamento filosófico se afasta do predominante pensamento presente na vida das primeiras civilizações. Esse afastamento descortina o nascimento do pensamento científico.



Não obstante, o céu continua no centro de interesse rumo à construção da história do conhecimento humano. Então, o pensamento filosófico da antiguidade é afastado dos fazeres de todos os deuses que criavam o Sol, o trovão, a chuva que inundava as terras, mas que trazia consigo a abundância de elementos cruciais para a sobrevivência do homem no Planeta Terra. É nessa mesma trajetória que o avanço científico, impulsionador do nascimento da Ciência Moderna, oportuniza nova maneira de pensar a origem e explicar a evolução do Universo.



Como resultado, especialmente no decorrer de todo o século XX, amplia-se o conhecimento sobre a origem e evolução do Universo com uma velocidade jamais observada pela humanidade. Não obstante, há que se considerar que uma das grandes conquistas da Ciência – compreendida como método científico para criar e testar modelos² – ao longo do século XX, sem dúvida, diz respeito à “[...] incorporação da Cosmologia – até então área de estudo marginalizada por suas vinculações com a metafísica e a teologia – ao conjunto das ciências naturais – em particular, à física e à astronomia”.³



¹ Sagan (2014).

² Rosenfeld (2005).

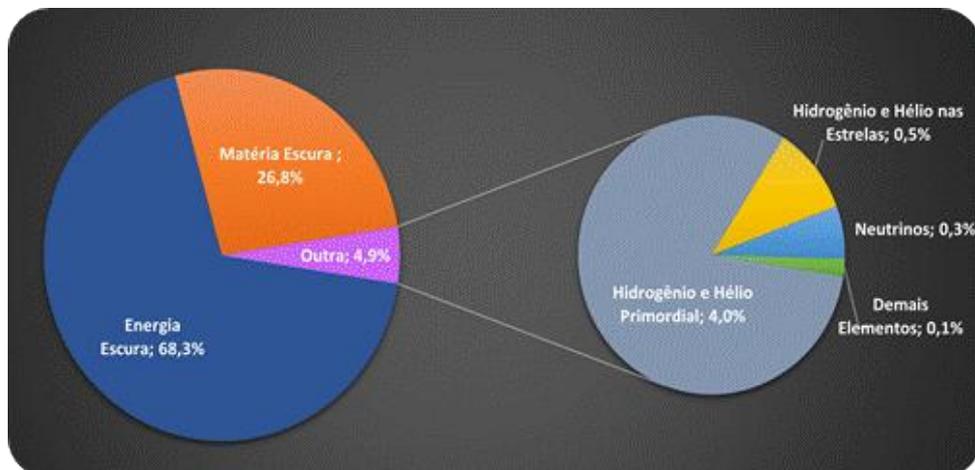
³ Videira e Vieira (2022, p. 10).

Nas primeiras décadas do século XXI, a Astronomia e a Cosmologia têm se beneficiado de uma série de pesquisas e novos resultados em relação aos diversos comprimentos de onda, alcançados a partir da análise de dados observacionais gerados em rádio e microondas (NVSS, WMAP, Planck), no óptico/infravermelho (SDSS, DESI, Pan-Starrs) e em energias mais altas (raios-X e gama) (AGILE, Fermi, Swift, Chanda, Integral, XMM-Newton). Acredita-se que ao longo da década de 2020

[...] a operação dos observatórios mais poderosos já concebidos pelo homem, como os satélites James Webb Space Telescope e Euclid, o Square Kilometre Array Observatory (SKAO), o Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) e o Large Synoptic Survey Telescope (LSST), agora renomeado Vera C. Rubin Observatory.⁴

É bem verdade que a Ciência ainda não desvendou todos os 'segredos' que o Universo esconde. Estima-se que na formação do Universo há matérias visíveis (originária) que representam apenas 4,9% e que o restante seja formado por energia escura (68,3%) e por matéria escura (26,8%).

Figura 1 – Composição do universo⁴



Energia escura é o nome genérico atribuído para a componente do Universo que causa a expansão. A energia escura provoca a repulsão sobre a matéria. Já a matéria escura é aquela que compõe o Universo e que não emite radiação eletromagnética, sendo apenas perceptível pela ação gravitacional que exerce sobre a matéria luminosa.

⁴ Basilio (2021).

Da mesma forma que a matéria normal, formada por prótons, nêutrons e elétrons, a matéria escura existente no Universo possui gravidade e exerce força de atração sobre a matéria. Quanto à energia escura, ainda não se descobriu sobre sua natureza. Astrônomos calculam que a energia escura tem um parâmetro de densidade de 0,7, ou seja, a densidade do Universo associada à energia escura corresponde a 70% da densidade crítica.



Dai ventila-se a ideia de que se continuar o domínio da força repulsiva da energia escura sobre a força atrativa da gravidade, possivelmente "[...] o Universo se expandirá cada vez mais rapidamente, fazendo com que galáxias e tudo que tem nelas, incluindo estrelas, planetas e os próprios átomos acabem destroçados num final catastrófico, batizado de grande estilhaçamento".⁵

Então, vamos estudar parte do conhecimento armazenado no campo da Cosmologia Moderna, o qual tenta encontrar respostas para uma série de 'perguntas fundamentais':

Por que o Universo existe? Ele sempre existiu? Quem o criou? Há um sentido para a vida no Universo? O Universo tem um começo já determinado e um fim predefinido? Como seria seu fim? Por que o céu é claro durante o dia e escuro à noite?



É, pois, na tentativa de encontrar respostas que a Cosmologia aborda o Universo no âmbito da trajetória da humanidade sob dois enfoques distintos, quais sejam:

- a) Mitos e lendas: subjetividade, 'cada cabeça uma sentença', imposição ou consenso social;
- b) Hipóteses científicas: objetividade, 'avaliação por pares', consistência teórica e experimental a serem encontradas pela comunidade científica.

Notadamente, tal como mitos e lendas é que nas discussões propostas sobre assuntos da Cosmologia Moderna buscamos encontrar respostas a outras questões fundamentais e básicas que estão ligadas diretamente com o Cosmo:

⁵ Saraiva, Oliveira Filho e Müller (2010, p. 9).

De onde viemos? Para onde vamos? Onde estamos? Por que aqui estamos?



Essas e outras ‘perguntas fundamentais’ fazem parte do conhecimento da Cosmologia Bíblica e, ainda, estão presente na vida cotidiana da humanidade do século XXI.

A Cosmologia Bíblica é definida como uma hipótese cosmológica que pode ser reconstituída a partir de informações contidas na Bíblia Sagrada que se remetem ao conhecimento do Cosmo como entidade organizada e estruturada, incluindo sua

origem, ordem, significado e destino do Universo.

No entanto, há algumas disparidades entre as concepções da Cosmologia Bíblica com as concepções científicas da Cosmologia Moderna. Nesse sentido, “[...]



costuma-se dizer que o objetivo da Bíblia não está no conhecimento científico, mas apenas em que o homem conheça a Deus e o propósito de sua própria existência”. Salienta-se, ainda, que não deve ser confundido ou identificado o relato da Cosmogonia de Gênesis com qualquer teoria científica, pois o propósito dessa

doutrina, [...] em contraste com o da investigação científica, é ético e religioso [...] O todo é poético e não cede para fechar correlações científicas [...] Gênesis nem afirma nem nega a hipótese da evolução, ou qualquer hipótese para esse assunto.⁶

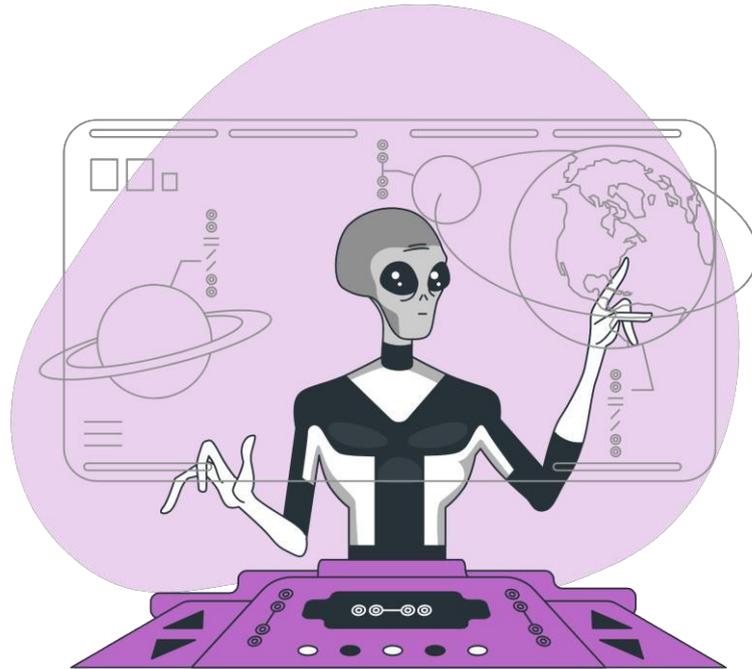
Por fim, ainda há que se considerar que o estudo científico sobre o Universo pode ser concebido como um conjunto de pontos onde cada um deles é, sobretudo, o que denominados de uma galáxia.

Seguindo por tal trajetória, revisitaremos conceitos da Cosmologia Física e da Cosmologia Observacional, pautamos algumas contribuições de pensadores que auxiliaram na construção do arcabouço conceitual da Cosmologia Moderna desde a antiguidade até nossos dias, apresentamos um quadro síntese (Apêndice A) sobre concepções e hipóteses



⁶ Ravasi (2009).

formuladas por cada cientista sobre a origem e evolução do Universo, contemplamos reflexões sobre os fundamentos da Cosmologia Moderna e as bases do princípio cosmológico padrão (PCP), bem como apresentamos algumas tecnologias e instrumentos utilizados pela Cosmologia Observacional para desvendar os 'segredos' do Universo.



CAPÍTULO 2 – COSMOLOGIA MODERNA

CONCEITOS

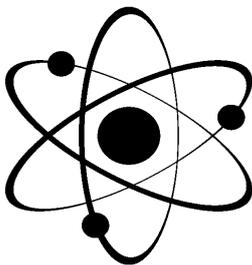
A palavra Cosmologia provém do grego antigo, tendo se originado pela reunião de dois verbetes: **cosmos** (*kosmos* = universo), que significa Universo, e **logos**, que se traduz como razão ou organização racional.⁷

Em geral, a Cosmologia é definida como um ramo da Astronomia que se destina a estudar a origem, estrutura e evolução do Universo a partir da aplicação de métodos científicos.

A Cosmologia é concebida como uma ramificação da Física e da Astronomia, ou seja, da Astrofísica. Não sem razão, a grande maioria dos cosmólogos profissionais é um Físico ou é um Astrônomo.



Há teóricos que entendem a Cosmologia como uma “[...] Ciência que estuda a estrutura, evolução e composição do universo”⁸. A estrutura diz respeito ao problema da forma e da organização da matéria no Universo; a evolução consiste nas diferentes fases pelas quais passou o Universo; a composição se refere àquilo que forma o Universo, ou seja, o que é utilizado para fazer o Universo.



Em sentido amplo, diz-se que a Cosmologia consiste no estudo da história, estrutura e composição do Universo como um todo. Sob outra perspectiva, entende-se que a Cosmologia é a Ciência que estuda a evolução e as propriedades físicas do Universo. Por síntese, a Cosmologia é simplesmente a Ciência do Universo.

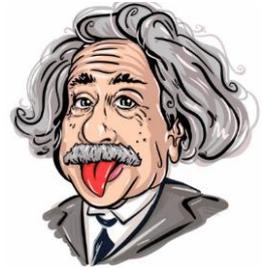
O principal objetivo da Cosmologia Moderna é entender como o Universo se formou/forma e se organizou/organiza, quais suas principais características que podem ser observáveis pelo ser humano e como será o Universo no futuro. Nessa

⁷ Sagam (2014).

⁸ Rosenfeld (2005, p. 31).

compreensão, afirma-se que a proposta da Cosmologia Moderna é explicar seu próprio passado e seu presente, bem como prever seu próprio futuro.

Historicamente, é na primeira década do século XX que nasce a Cosmologia Moderna, particularmente impulsionada pela publicação do físico teórico alemão Albert Einstein (1879-1955) sobre a teoria do campo gravitacional, a Teoria da Relatividade Geral (TGR).



Alguns estudiosos dividem a Cosmologia Moderna em dois ramos: a Física e a Observacional. A Cosmologia Física estuda as maiores estruturas e a dinâmica do Universo, além de questões fundamentais sobre origem, estrutura, evolução e destino final do Universo. Para tal, utiliza-se de modelos teóricos já elaborados. A Cosmologia Observacional estuda a estrutura, a evolução e a origem do Universo pela observação a partir de instrumentos.

O objetivo maior da Cosmologia Moderna é explicar o Universo. Para tal, utiliza-se de uma teoria esteticamente atraente e de potentes instrumentos. Então, a tarefa primordial do cosmólogo é determinar cientificamente a origem do Universo, entender sua possível evolução ocorrida no passado e estimar provável evolução futura.



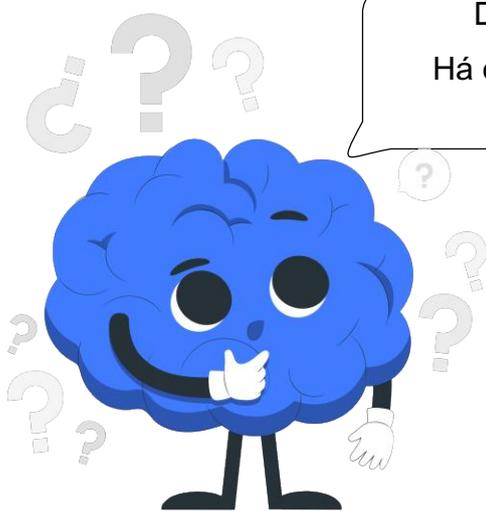
Ei! Espera aí. Atenção para a seguinte notícia: “Ciência acabou de descobrir a origem do Universo”. Será mesmo? Bem vamos entender essa notícia a partir da seguinte afirmativa: “[...] O Universo é a totalidade daquilo que o homem pode observar, daquilo que ele não pode observar, e mesmo daquilo que ele jamais poderá observar”.⁹ Será isso mesmo? Use suas próprias palavras para responder aqui o que é o Universo? _____

Bem, há, ainda, um longo caminho a seguir até serem encontradas possíveis respostas sobre a origem do Universo. Vamos seguir adiante?

⁹ Ribeiro e Videira (2011, p. 6).

CAPÍTULO 3 – A ORIGEM DE UNIVERSO NA COSMOLOGIA MODERNA

Há uma série de hipóteses que procura explicar a origem do Universo, dentre as quais, a mais aceita pela comunidade científica é a hipótese do *Big Bang* ou Hipótese da Grande Explosão. Contudo, para além da grande explosão e de outras hipóteses que se propõem a explicar a origem do Universo,¹⁰ também há cientistas que propõem uma ‘adaptação’ da hipótese do *Big Bang* a fim de consolidar a busca por respostas para uma série de questões cruciais para a humanidade, ainda em aberto, às vezes, explicada pela Cosmologia Bíblica,¹¹ a qual não se utiliza de métodos científicos tais como conhecemos hoje. Mas, é bem verdade que a Ciência ainda tem muitas dúvidas:



De onde nós viemos e para onde vamos?
Há ou não um único Universo? O que há nesse misterioso Universo?

Analisaremos, brevemente, a histórica descoberta científica e suas possíveis respostas à origem do Universo. Abordamos ainda, sobre a idade de Universo com base na Lei de Hubble, os significados dos efeitos Doppler, *redshift*, *blueshift*.

¹⁰ Vale lembrarmos que, para Richard Feynman (1918-1988), uma teoria de substituição deve ser uma nova coisa perfeita, não uma imperfeição adicionada a uma coisa perfeita antiga. Então, a essência da ‘revolução científica reside na substituição do antigo pelo novo e não a adição de mais lixo ao antigo.

¹¹ Importa lembrar a explicação de Galileu Galilei quando se refere ao estudo natural dos corpos celestes em relação com a doutrina bíblica: “a Bíblia não nos diz como são feitos os céus, mas o que devemos fazer para chegar lá” (Paiva, 2002, p.561).

3.1 Hipótese da Gravidade Quântica em *Loop*¹²

A hipótese da Gravidade Quântica em *Loop* (GQL) se sustenta na Física Quântica e se afasta do *Big Bang*. Essa hipótese é baseada na Teoria da Relatividade Geral (TGR), enunciada por Einstein e em Geometria Quântica, sustentada na hipótese Quântica de espaço-tempo. Essa hipótese tem por objetivo reconciliar as incompatibilidades entre Mecânica Quântica e TGR.

A Gravidade Quântica é um campo da Física Teórica que tenta descrever a gravidade segundo os princípios da Mecânica Quântica. A Gravidade Quântica de *Loop* surge como fundamento teórico para quantificar o espaço. Nela, o espaço é

[...] descrito como uma treliça tridimensional, na qual os vértices de cada cubo são os pontos que podem ser ocupados e as arestas valem um métron (um métron é igual a 1035 m). Se o espaço é mesmo quantizado e a menor distância entre dois pontos é um métron, então, a gravidade nunca será infinita, pois a distância nunca será zero!

Fonte: Cherman; Mendonça (2010, p. 225).

Na busca por unificar a TGR e a Mecânica Quântica, a GQL surgiu como alternativa para a Teoria das Cordas, um modelo físico-matemática que descreve outras forças além da gravitacional. A GQL ainda está em desenvolvimento, sendo atualmente aplicada na prática da Ciência Cosmológica, útil à descrição da entropia e da termodinâmica dos buracos negros¹³ e em alguns cálculos que envolvem a aplicação da Hipótese do *Big Bang*. É aqui que reside a importância da GQL no campo da Cosmologia Observacional.

3.2 Hipótese M ou Teoria M¹⁴

Conhecida como Hipótese M: M de *matriz* ou de *mãe*, proposta pelo físico-matemática Edward Witten (1951-), em 1995, é outra hipótese que se propõe a unificar as cinco diferentes hipóteses das supercordas¹⁵ e da supergravidade.

¹²Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Gravidade_qu%C3%A2ntica_em_loop

¹³ Buraco negro é uma região do espaço-tempo em que o campo gravitacional é tão intenso que nada – nenhuma partícula ou radiação eletromagnética como a luz – pode escapar (WILIPÉDIA, 2023).

¹⁴ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria-M>

¹⁵ Hipóteses das supercordas. (1) Tipo I $SO(32)$ – ambas com cordas abertas e fechadas. Inexistência de taquiões; (2) Tipo IIA – Apenas cordas fechadas vinculadas às D-branas. Inexistência de taquiões. Fermiões sem massa não são quirais; (3) Tipo IIB – apenas cordas fechadas vinculadas a D-branas. Inexistência de taquiões. Fermiões sem massa quirais; (4) Tipo HO – apenas com cordas abertas em expansão. Sem taquiões. Heterotípico, i.e, os movimentos direitos e esquerdos da corda divergem; (5) Tipo HE – somente com cordas fechadas. Sem taquiões. Heterotípico. Grupo de simetria $E_8 \times E_8$ (WIKIPÉDIA, 2022).

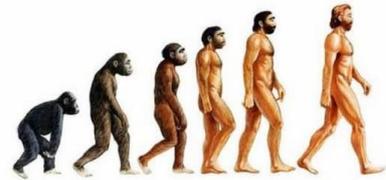
Edward Witten sugere que as diferentes formas matemáticas exploradas na Hipótese das Cordas nada mais são que simples maneiras distintas de se olhar para o mesmo problema, utilizando-se a Hipótese M, com nova dimensão.

A hipótese levantada aqui é que tudo há é formado por membranas – seja matéria ou campo –, e que o Universo flui por meio de onze (11) dimensões, quais sejam: três (3) dimensões espaciais (altura, largura, comprimento), uma (1) temporal (tempo) e sete (7) dimensões recurvadas. Em cada dimensão há outras propriedades, como, por exemplo, massa e carga elétrica.

No interior da hipótese M fica evidente o despontar de outra implicação, questionamento: pode existir mais de um Universo? Por enquanto só o tempo dirá!

3.3 Hipótese da Seleção Natural Cosmológica¹⁶

A hipótese da Seleção Natural Cosmológica, elaborada pelo físico estadunidense Lee Smolin (1955-), propõe-se a explicar a complexidade do Universo em formação, em particular quanto à vida. Acredita-se que a origem do Universo poderia ser explicada pela seleção natural cosmológica a exemplo da complexidade biológica à luz da Teoria da Evolução, defendida pelo biólogo naturalista britânico Charles Darwin (1809-1881).



Lee Smolin sugere que os buracos negros podem ‘dar à luz’ a novas regiões do espaço-tempo uma vez que as leis naturais estão sujeitas a sofrerem uma sutil ‘mutação’ durante o processo evolutivo do Universo. A singularidade inicial de *Big Bang* é explicada por Lee Smolin em termos de um ‘salto’ quântico de um Universo já formado anteriormente. Contudo, o argumento de Lee Smolin relativo às leis é essencialmente darwiniano: aqueles universos com leis condizentes à geração de buracos negros terão muitas progênes enquanto aqueles com leis dramaticamente diferentes não as terão. A sucessão, que ocorre de universos-pai e seus descendentes, desdobra-se no tempo, o que implica se entender que as leis evoluem e se modificam.¹⁷

¹⁶ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Sele%C3%A7%C3%A3o_natural

¹⁷ Nunes (2019).

3.4 Hipótese do Universo Oscilante¹⁸

A hipótese do Universo Oscilante, ou oscilatório, criada pelo matemático e físico Richard Chave Tolman (1881-1948) defende que o *Big Bang* é apenas o início do contínuo processo de expansão do Universo. Porém, a energia liberada pela grande explosão que ocorreu no início desse processo e que deu origem o Universo possui um limite. Em função desse limite, iniciar-se-á o processo de retração do Universo: o *Big Crunch*.

O esgotamento paulatino dessa energia ocorre pelo fato de o efeito gravitacional sobre os corpos atuar como força contrária à expansão do Universo. Assim, em algum momento, diante de uma série de infinita oscilação que ocorre no Universo, a força gravitacional será maior que a energia gerada pela explosão. Então, ocorrerá o processo retração do Universo.

A concepção de Universo oscilatório, ou cíclico, está presente na base de alguns dos vários modelos cosmológicos conhecidos atualmente, em particular entre aqueles que defendem a hipótese de que o Universo segue ciclos autossustentáveis indefinidos, ou até mesmo infinitos, que vão da expansão até o colapso.¹⁹

Na concepção de Tolman, a infinita oscilação do Cosmo já pode ter ocorrido inúmeras vezes, de maneira que o Universo que conhecemos hoje é apenas um entre tantos outros.

3.5 Hipótese do *Big Bang*²⁰

Possivelmente, há bilhões de anos ocorreu o *Big-Bang*, a Grande Explosão, dando início à formação de nosso Universo – que continua a se expandir – e viabilizou a criação dos primeiros elementos essenciais para a vida na Terra.



Como sabemos exatamente quando ocorreu o *Big Bang* – denominação proposta, em 1950, pelo astrônomo britânico Fred Hoyle (1915-2001) adepto ao modelo estacionário do Universo (posteriormente discutido) –, há duas hipóteses principais que sustentam a existência dessa Teoria: a universalidade das leis da Física

¹⁸ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Universo_oscilante

¹⁹ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Sele%C3%A7%C3%A3o_natural

²⁰ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Big_Bang

e o princípio cosmológico, o qual defende que o Universo é isotrópico e homogêneo (explicado posteriormente). No entanto, o nome *Big Bang* pegou e, atualmente, é usado tanto no âmbito popular quanto tecnicamente para designar as hipóteses que tratam da origem e evolução do Universo.

Vários cosmólogos têm testado tais hipóteses por meio de observação. Por exemplo, em 1927 surgiu a hipótese do *Big Bang* a partir do trabalho teórico elaborado pelo abade belga Georges Henri Joseph Édouard Lemaître (1894-1966), o qual revela que a TGR defendida por Albert Einstein era compatível com a recessão das galáxias (anteriormente dita *Nebulae*) e propôs que Universo teria surgido decorrente da explosão de um 'átomo primordial'. Esse átomo teria se fragmentado em uma quantidade extraordinária de pedaços e cada pedaço se fragmentado em outros menores e assim sucessivamente até chegar ao atual conhecimento da Ciência.²¹



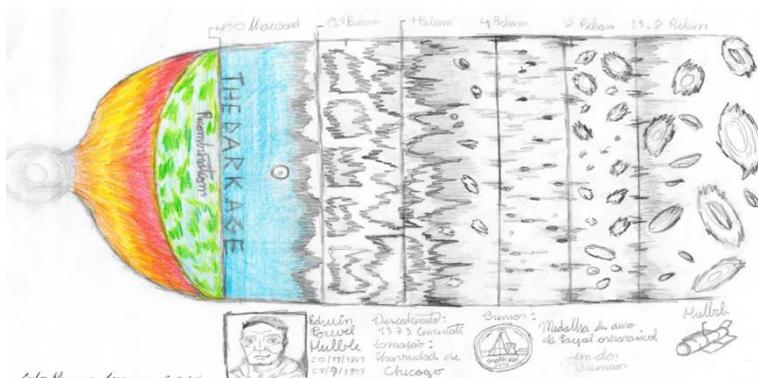
Georges Lemaître



Edwin P. Hubble

Logo após o surgimento da hipótese do *Big Bang*, o astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953) concordantemente com Lemaître, observa evidências de que as galáxias se afastam em altas velocidades uma das outras em todas as direções do espaço do Cosmo. A partir de seus estudos, Hubble formula a denominada Lei de Hubble para determinar a velocidade de afastamento das galáxias e comprovar a expansão do Universo.

A aplicação da Lei de Hubble revela que há mais 13 bilhões de anos todas as galáxias do Universo estavam juntas. Porém, defende-se que não apenas as galáxias, mas toda a radiação e a matéria, tudo, estava confinado no instante em que ocorre a



explosão: o *Big Bang*. Então, as posições e as velocidades das galáxias que hoje conhecemos decorrem do primeiro impulso que levou à explosão do Universo.

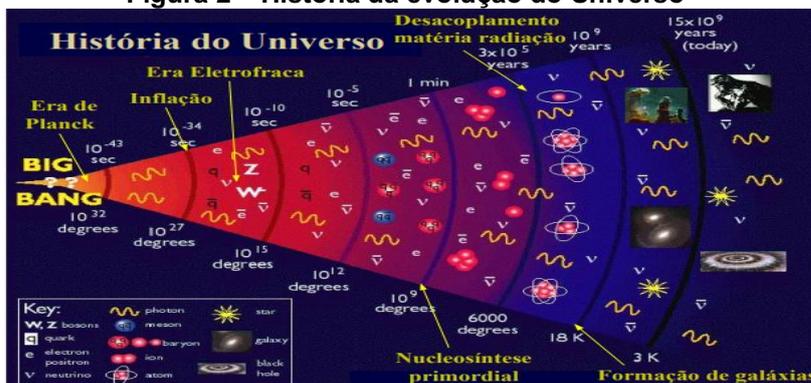
²¹ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Georges_Lema%C3%AAtre

Há evidências de que o afastamento das galáxias decorre do fato de o Universo se manter em expansão acelerada. Em 1965, muitas dessas evidências foram testadas e expostas juntamente com a descoberta da radiação cósmica de fundo (RCF) pelos físicos estadunidenses Arno Alan Penzias (1933-2024) e Robert Woodrow Wilson (1936-), reforçando a aceitação da hipótese do átomo primordial de Lemaitre. Assim, a detecção da RCF acaba por confirmar a hipótese do modelo de George Anthony Gamov (1904-1968), a qual sugere que o Universo teve um início. Mas, em dados momentos a partir desse início houve a criação dos núcleos atômicos por meio de um processo de nucleossíntese.

O certo é que a Ciência ainda não pode precisar sobre a ocorrência do *Big Bang*, mas há alguma maneira de dizer onde aconteceu o *Big Bang*? Como veremos posteriormente, o princípio cosmológico padrão (PCP) diz que o Universo é e sempre será o mesmo em todos os lugares. Porém, na Lei de Hubble, a expressão para a velocidade de recessão das galáxias, implica que todas as galáxias se criaram em um dado momento no passado.

Para melhor compreensão sobre a expansão do Universo é preciso entender que não há um centro a partir do qual ocorre a expansão e que o *Big Bang* não foi simplesmente uma explosão enorme que varreu a matéria para dentro do espaço e formou as galáxias que podemos observar. É preciso entender o Universo em si, como um todo, que se expandiu e está se expandindo, que não há espaço além das galáxias e que no momento do *Big Bang*, as galáxias não residiam em um ponto central localizado em um lugar definido dentro do Universo. O Universo como um todo era um ponto e que, portanto, não havia ponto específico onde ocorreu o *Big Bang*, uma vez que a explosão se desencadeou de uma só vez em todos os lugares. Daí se entender que o início do espaço-tempo é o próprio *Big Bang* (Figura 2).

Figura 2 – História da evolução do Universo²²



²² Disponível em: portaldoastronomo.org

A partir da compreensão de que o Universo que conhecemos hoje começa a se formar a partir do *Big Bang*, a seguir, vamos entender um pouco mais como foi o início de tudo? Discutiremos, então, sobre os significados da Lei de Hubble, dos efeitos Doppler, *Redshift*, *Blueshift*.

3.6 Lei de Hubble, Efeitos Doppler, *Redshift* e *Blueshift* Cosmológicos

O início do Universo, tal como conhecemos, equivale ao início de sua expansão a partir do *Big Bang*. Ora, então, se o Universo está em franca expansão seria por que, no passado, ele era menor? Analisaremos.

Bem! Com o conhecimento que já adquirimos e se voltássemos para o passado, logo após o início do evento do *Big Bang* e acompanhássemos um logo período de evolução do Universo até os dias de hoje, certamente notaríamos que as galáxias estão muito mais próximas umas das outras em comparação como idos tempos de existência do Universo? Será?

O astrônomo estadunidense Vesto Melvin Slipher (1875-1969) se dedicou ao estudo das galáxias. Ao analisar quarenta e uma (41) galáxias, na década de 1910, observa que a grande maioria das galáxias revela deslocamento espectral para o vermelho (*redshift*). Essa observação leva-o a entender que todas elas se afastam do Planeta Terra e a constatação de que quanto mais fraca fosse a luminosidade da galáxia, mais distante ela estaria da Terra e maior era o deslocamento para o vermelho de seu espectro.



Vesto Melvin Slipher

Nessa mesma década, Hubble explora os recursos ofertados pelo recém-instalado telescópio com 2,5m de diâmetro, situado no Monte Wilson, na Califórnia, identifica estrelas variáveis cefeidas em diversas manchas luminosas²³ e determina suas distâncias e, conclusivamente, demonstra que se trata de outros sistemas estelares similares à Via Láctea. A partir dessa descoberta todos os sistemas estelares passaram a ser chamados de galáxias, por analogia com a denominação de nossa Via Láctea. Então, é aí que as galáxias foram descoberta!²⁴



²³ O astrônomo Thomas Wright (1711-1786) sugeriu que as 'manchas' luminosas, ou, 'nebulosas', vistas no céu, entre as estrelas da Via Láctea, poderiam ser sistemas semelhantes ao sistema da Via Láctea, mas que pareceriam pequenos no céu por estarem a enormes distâncias de nós (MARTINS, 2012).

²⁴ Martins (2012).

Hubble juntamente com seu colaborador, Milton Lasell Humason (1891-1972), astrônomo estadunidense, medem os espectros das galáxias observadas na época, e confirmam que, tanto maior quanto era a distância, praticamente todas essas galáxias apresentam um desvio espectral para o vermelho. Dessa observação surge o entendimento do desvio espectral ou efeito Doppler. A ocorrência desse efeito significa indica as galáxias se afastam da Terra com velocidades tanto maiores quanto maiores forem suas respectivas distâncias.²⁵



Milton Lasell Humason

O efeito Doppler foi primeiramente descrito pelo austríaco físico e matemático Christian Andreas Doppler (1803-1853). Esse efeito se aplica a qualquer fenômeno ondulatório, pois um observador atento sobre os fenômenos ondulatórios é capaz de perceber a frequência da onda alterada em relação à fonte, desde que haja movimento entre a fonte e o observador. Assim entendido, tem-se que se uma fonte de luz se afasta do Planeta Terra em alta velocidade, a frequência da luz aumenta em relação a nós e vira vermelha (*redshift*). Ao contrário, quando a fonte de luz se aproxima do Planeta Terra, a frequência da luz diminui e vira azul (*blueshift*).



Christian Andreas Dopple

Com os estudos de Hubble e Humason surge o conceito da velocidade de recessão em função da distância, que é conhecido como Lei de Hubble. A partir daí, tem-se definido que as velocidades de afastamento (de recessão) são diretamente proporcionais à distância que uma galáxia se posiciona em relação ao Planeta Terra.

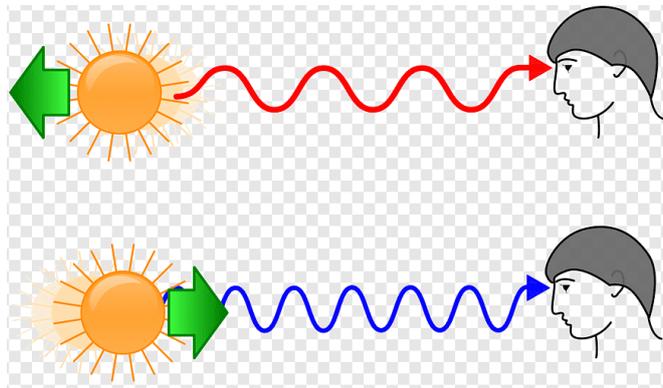
Essa relação linear entre as velocidades de recessão e as distâncias das galáxias é chamada Lei de Hubble, expressa pela relação $v = H_0 d$, onde H_0 é a constante de Hubble, v é a velocidade de recessão da galáxia e d corresponde a sua distância. Com aplicação da Lei de Hubble é possível ser determinada a distância de galáxias remotas em relação ao Planeta Terra.²⁶

Bem, você entendeu o significado do efeito Doppler? Explique:

²⁵ Saraiva; Oliveira Filho e Müller (2010).

²⁶ Saraiva; Oliveira Filho e Müller (2010).

Agora observe a imagem a baixo e, com suas próprias palavras, diferencie *Redshift* Cosmológico de *Blueshift* Cosmológico.



Fonte: <https://www.pngwing.com/en/free-png-vcjnm>

Um passo à frente e vamos estudar o Princípio Cosmológico Padrão (PCP), o Modelo Cosmológico Padrão (MCP) e os modelos Inflacionários.

Juntos, pesquisaremos sobre os principais cientistas que contribuíram para a construção dos fundamentos da Cosmologia Moderna e dos Modelos Cosmológicos.

CAPÍTULO 4 – FUNDAMENTOS DA COSMOLOGIA E OS MODELOS COSMOLÓGICOS

4.1 Fundamentos da Cosmologia Antiga

A Cosmologia Moderna se firma em algumas concepções na Cosmologia Antiga. Nesse período desponta a Cosmologia Mágica ou Cosmologia Mítica, cujos princípios primitivos foram criados pelos povos que viveram no período neolítico, compreendido entre os anos de 7000 a.C e 2500 a.C.

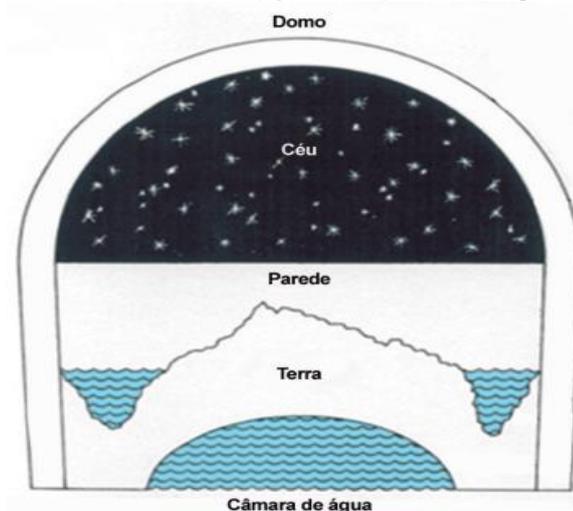
Nesse período, o Universo era tudo aquilo com que os povos interagiam de modo imediato. O clima, terremotos, vulcões e outras fortes de mudanças que ocorriam ao longo do ano no meio ambiente formavam as coisas cosmológicas, interpretadas como ‘sobrenaturais’.

A partir do instante em que começou a organização social da humanidade, os mitos prevalecem na tentativa de explicar racionalmente o mundo cotidiano. Nesse período se firma o mito da criação, cujo objetivo era explicar a origem do Universo. Surgem, então, as primeiras ‘hipóteses científicas’.

A cosmologia da Mesopotâmica era sofisticada para a época. Na concepção dos babilônios, o Universo tinha seis níveis com três firmamentos e três terras: dois firmamentos acima do céu, o firmamento das estrelas, a terra, o submundo do *Apsu*, e o submundo dos mortos (Figura 3). A Terra teria sido criada pelo deus Marduk (já mencionado) como uma jangada que flutua sobre o *Apus* (divindade masculina, o procriador dos deuses).



Figura 3 – Universos na concepção dos povos antigos babilônios²⁷



No Egito, o desenvolvimento da cosmologia segue por linhas práticas, ainda que, tal como os babilônicos, é refletido de mitos e crenças religiosas. Na época, o povo egípcio tinha vaga ideia sobre a extensão e estrutura do Universo. O deus do Sol, Ra, era o mais importante e simbolizava um universo eterno.



No período do velho reinado egípcio, o entusiasmo astronômico-religioso dos



faraós chega ao ápice com a construção das pirâmides de Gizé, orientadas para as estrelas circumpolares do norte, que simbolizam um caminho para os deuses.²⁸

Na Ásia desponta a cosmologia indiana juntamente com a arqueologia e a literatura dos Vedas. Os textos védicos apresentam uma visão recorrente tripartida do Universo – terra, espaço e céu – que, no ser humano, está espelhada no corpo físico, na respiração (prana) e na mente. Na cosmologia indiana, o Universo passa por ciclos de vida e morte.

Na visão védica, o Universo é grande, cíclico e extremamente velho; é um mundo atômico, composto por classes de substâncias – éter, espaço e tempo, que são contínuas – substâncias elementares, ou partículas, chamadas terra, ar, água e fogo, que são atômicas – dois tipos de mentes, uma onipresente e outra que é o indivíduo; o espaço e o tempo são relativos, sendo que nem o espaço nem o tempo precisam fluir à mesma taxa para observadores diferentes.

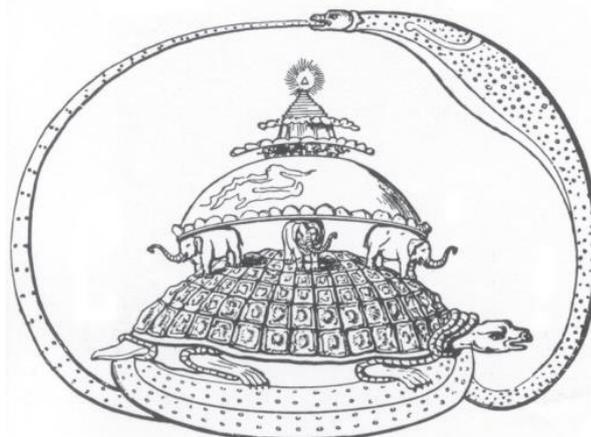
²⁷ Veiga (2005, p. 20).

²⁸ Veiga (2005, p. 25).

Nessa concepção, o Universo é infinito, destruído no final de cada *kalpa* – que se refere à vida do deus criador Brahma. Entre a destruição do Universo e sua recriação, no final de cada ciclo, o deus Vishnu repousa nos anéis de Ananta – a grande serpente do infinito –, enquanto espera a recriação do próprio Universo.

Os conceitos hindus sobre o Universo mostram que a Terra – ou Monte Meru – e as regiões infernais eram transportadas por uma tartaruga – símbolo da força e poder criativo. A tartaruga repousava sobre a grande serpente, que era o emblema da eternidade. No interior da Figura 4, há três mundos: a parte superior está a residência dos deuses, na parte intermediária, a Terra, e na inferior, a região infernal. Esse três mundos eram unidos e cobertos Monte Meru – montanha cósmica. No topo desse Monte está o triângulo – símbolo da criação. As estrelas giravam em volta dessa montanha cósmica.

Figura 4 – Universo na concepção dos antigos hindus ²⁹



Na história da China antiga se encontram várias interpretações sobre o Universo e que contêm várias ideias básicas comuns sobre a estrutura universal. Em época remota, os chineses já distinguiam estrelas e planetas e anotavam sobre o comportamento errante de vários corpos celeste.

Na concepção chinesa, o céu era arredondado e continha nove níveis cada um deles separados por um portão e guardado por um animal particular. O nível mais alto era o “Palácio da Tenuidade Púrpura” – residência do Imperador do Céu – que ficava na constelação que hoje conhecemos por Ursa Major. No centro do céu estava o Polo Norte e a Estrela Polar. O centro era o ponto geográfico mais importante, pois se acreditava ser o ponto mais próximo do firmamento. Para os chineses, no centro

²⁹ Veiga (2005, p. 24).

da Terra estava situado o coração da civilização. À medida que a Terra ultrapassava esse centro, as terras e seus habitantes se tornavam cada vez mais selvagens.

Em épocas remotas, três hipóteses vigoravam na China.

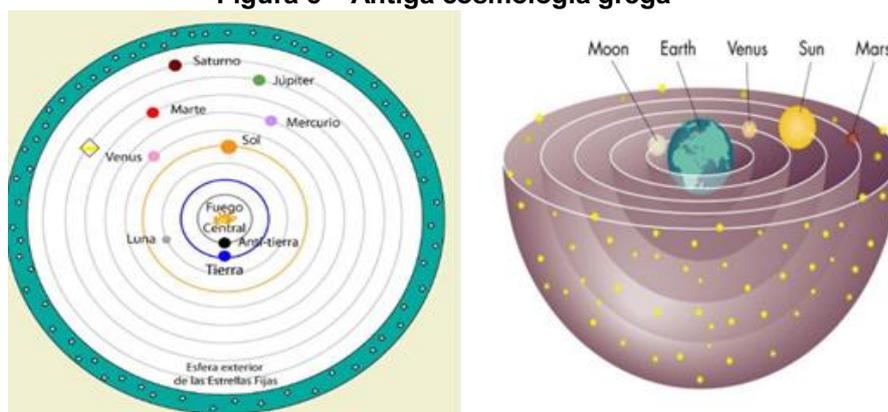
- a) a primeira Gai Tian era a hipótese do firmamento em forma de domo. No centro do domo celeste estava a Ursa Maior e no centro da Terra a própria China.
- b) a segunda Hun Tian previa um firmamento esférico com uma forma muito semelhante a um ovo de galinha, na gema do ovo estava Terra. O firmamento era mantido suspenso por um vapor chamado “qi”. Esta hipótese, em particular, conduziu a vários avanços tecnológicos na astronomia como a construção de esferas e anéis armilares.
- c) terceira Xuan Ye, sem qualquer justificativa, fato e/ou observação empírica, defendia que o Universo era infinito e mantinha os corpos celestes suspensos.

Na Grécia antiga, a geometria atraía físicos, astrônomos e cosmólogos. Acreditava-se que o círculo era “a forma perfeita”, apesar de observarem manchas na Lua, durante a fase cheia, e, ocasionalmente, no crepúsculo visto a olho nu, observavam algumas manchas solares. A ideia de perfeição do círculo levou a postular que as órbitas planetárias eram todas circulares.



No século IV a.C. desenvolvera-se a ideia que havia uma esfera celeste onde as estrelas eram fixadas. Essa esfera girava em torno da Terra – que também era esférica – a cada período de 24 horas. Os planetas, o Sol e a Lua, se moviam no éter – um meio que permeava todo o espaço (Figura 5).

Figura 5 – Antiga cosmologia grega ³⁰



Registra-se que os gregos foram os primeiros a construir um Modelo Cosmológico para descrever o aparente movimento da Lua, do Sol, dos planetas e das estrelas, tema abordado, posteriormente.

4.2 Fundamentos da Cosmologia Moderna

O principal fundamento da Cosmologia Moderna reside na ideia de ser o Universo um todo expandindo a partir de um único ponto, com nada, nem mesmo espaço e tempo fora deste.³¹

4.3 Princípio Cosmológico³²

As hipóteses que sustentam a Cosmologia Moderna partem de um pressuposto básico, conhecido como Princípio Cosmológico. Segundo este Princípio, o Universo é homogêneo em grande escala – tendo igual densidade em todo lugar – e é isotrópico – com mesma aparência quando visto em qualquer direção. No Universo todos os lugares são equivalentes.



Embora o pressuposto da homogeneidade do Universo seja a primeira das duas grandes suposições da Cosmologia Moderna em estudos de grande escala, há interrogações levantadas pela Cosmologia Observacional sobre a veracidade deste pressuposto, mas tais interrogações ainda permanecem.

Há várias evidências reveladas pela Cosmologia Observacional quanto ao pressuposto de o Universo ser isotrópico. Exceto nas regiões obscurecidas da nossa

³⁰ Disponível em: <https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/geocentrismo-e-heliocentrismo/>

³¹ Oliveira e Jatenco-Pereira (2012, p. 209).

³² Oliveira e Jatenco-Pereira (2021, p. 201).

Galáxia, a Via Láctea, o Universo realmente parece similar em todas as direções, em qualquer comprimento de onda observada em distância apreciável. Em qualquer observação Cosmológica, em suas diferentes áreas, é estimado que, no céu, existe aproximadamente o mesmo número de galáxias.

Ainda que não se tenha certeza absoluta, o Princípio Cosmológico, também conhecido como Princípio Cosmológico Padrão (PCP), tem implicações importantes nos estudos da Cosmologia Moderna.

Assim, por exemplo, o PCP implica que o Universo não tem qualquer extremidade, o que resulta na violação da suposição de homogeneidade, e que não existe um centro no Universo. Em assim sendo, o PCP limita a noção da Geometria geral do Universo. Nesse sentido, vale lembrar que, usualmente, a Geometria do Universo é representada no sistema de distância apropriada, segundo a qual sua expansão pode ser ignorada. As coordenadas da distância apropriada formam um único marco referencial, pelo qual o Universo possui uma Geometria estática de três dimensões espaciais: largura, comprimento e profundidade.

Atualmente, com margem de erro próxima a apenas 0,4%, entendemos que o Universo é plano e tem extensão infinita, do que decorre pressupor-se que tem uma Geometria simples.³³

Foi notado na pesquisa que não era possível descrever o Universo como uma estrutura em evolução dinâmica com base somente na Mecânica newtoniana.³⁴ Então, fazia-se necessária a introdução de técnicas da TGR proposta por Albert Einstein e suas noções de curvatura do espaço e dinâmica do tempo-espaço. Parte dessas noções é rapidamente analisada juntamente com os Modelos Cosmológicos, seja o Modelo Padrão ou os Modelos Alternativos.

4.4 Modelos Cosmológicos – Padrão e Alternativos

A Cosmologia precisa de Modelos para representar a estrutura e descrever a origem e a evolução do Universo. Aqui apresentamos uma síntese do conhecimento que envolve os atuais Modelos Cosmológicos.

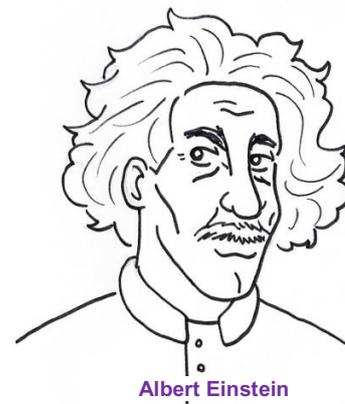
³³ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Princ%C3%ADpio_cosmol%C3%B3gico

³⁴ Ver as três leis de Newton: Lei da Inércia, Princípio Fundamental da Dinâmica e a Lei da Ação e Reação.

4.1.1 Modelo Cosmológico de Albert Einstein

Um dos primeiros modelos a ser discutido foi criado por Einstein. Supunha o cientista que o Universo era estático – tal como Isaac Newton (1643-1727) –, homogêneo e isotrópico, e o espaço seria formado por uma Geometria do formato de esfera. O espaço seria finito e sem qualquer borda.

Mesmo que acreditasse ser o Universo estático, Einstein sabia – devido à sua criação da TGR – que o Universo está sujeito à ação gravitacional, a qual promove sua contração.



Então, para pensar a ação da gravidade sobre o Universo, o cientista introduziu em suas equações a famosa constante cosmológica – denotada pela letra maiúscula grega lambda (Λ) – que age como uma força repulsiva, cuja ação previne o colapso do Universo decorrente da atração gravitacional.³⁵

Posteriormente, com as descobertas científicas de Hubble, em 1929, Einstein aceita a ideia de o Universo estar em expansão e retira a constante cosmológica de suas equações.

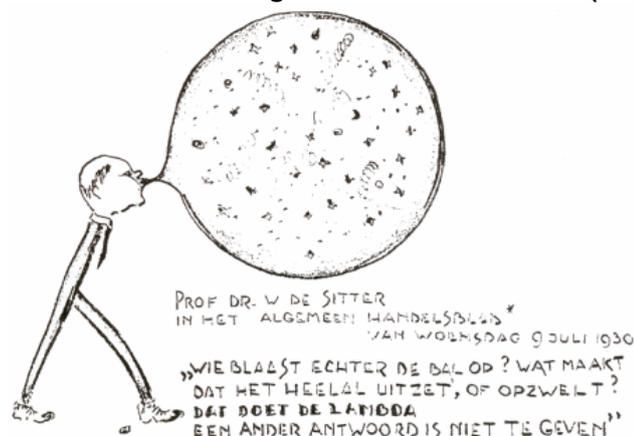
4.1.2 Modelo Cosmológico de Willem de Sitter³⁶

Em 1917, contrapondo-se ao modelo estático de Einstein, o matemático, físico e astrônomo neerlandês, Willem de Sitter (1872-1934), cria o primeiro modelo cosmológico relativista dinâmico ao demonstrar que a constante cosmológica permite um Universo em expansão mesmo se tal Universo não contivesse qualquer matéria, dita pelo cientista como energia do vácuo. Assim, de Sitter cria um modelo cosmológico relativista dinâmico: o Universo é espacialmente plano (Figura 6).

³⁵ Di Valentino, Melchiorri e Silk (2021).

³⁶ Soares (2015).

Figura 6 – Modelo cosmológico relativista dinâmico (charge) ³⁷



4.1.3 Modelo Cosmológico de Alexander Alexandrovich Friedmann e Georges Henri Joseph Édouard Lemaître ³⁸

Em estudos independentes, o matemático e cosmólogo russo Alexander Alexandrovich Friedmann (1888-1925), juntamente com abade belga Lemaître deram origem ao terceiro modelo cosmológico relativista com uma constante cósmica: o Modelo Cosmológico Padrão (MCP). Nesse modelo, o Universo é homogêneo e isotrópico e está sempre em expansão.

Em 1922, ao defender a ideia de o Universo estar sempre em expansão Friedmann justifica sua defesa ao afirmar que o Universo contém matéria em movimento, contrapondo-se à noção de Universo estático.

Para se contrapor ao modelo estático, Friedmann se dedica a modificar as equações de Einstein. A partir do resultado de seus Friedmann aponta para um Universo em expansão, onde todas as galáxias na vizinhança parecem estar em constante movimento de recuo a uma taxa proporcional à distância, como já anotado anteriormente pelo astrônomo alemão Carl Wilhelm Wirtz (1897-1939).

Ainda, na década de 1920, em estudos independentes, Lemaître apontava para conclusões semelhantes: o Universo está em franca expansão. Lemaître foi o primeiro a se referir à recessão das galáxias próximas a Via Láctea, anotando que tal recessão poderia ser explicada pela constante de expansão do Universo. Hipótese esta que é confirmada posteriormente por Hubble.

³⁷ Soares (2015).

³⁸ Rosenfeld (2005), Delbem (2010), Martins (2012), Ferreira (2022)

Em sua trajetória de estudo, primeiramente Lemaître deriva a Lei de Hubble – (re)nominada pela União Astronômica Internacional (IAU) como Lei Hubble-Lemaître – e propõe a ‘hipótese do átomo primordial’, conhecida como Teoria da Origem do Universo do *Big Bang*. Em 1927, publica sua primeira estimativa da constante de Hubble, dois anos antes da publicação do artigo de Hubble.

A partir de seus respectivos estudos, Friedmann e Lemaître predizem a hipótese de expansão do Universo. Essa hipótese, em 1929, é confirmada por Hubble ao investigar a existência de uma relação aproximadamente linear entre as distâncias de nebulosas³⁹ e seu desvio espectral para o vermelho: relação *redshift* versus distância.

4.1.4 Modelo Cosmológico Padrão (MCP)⁴⁰

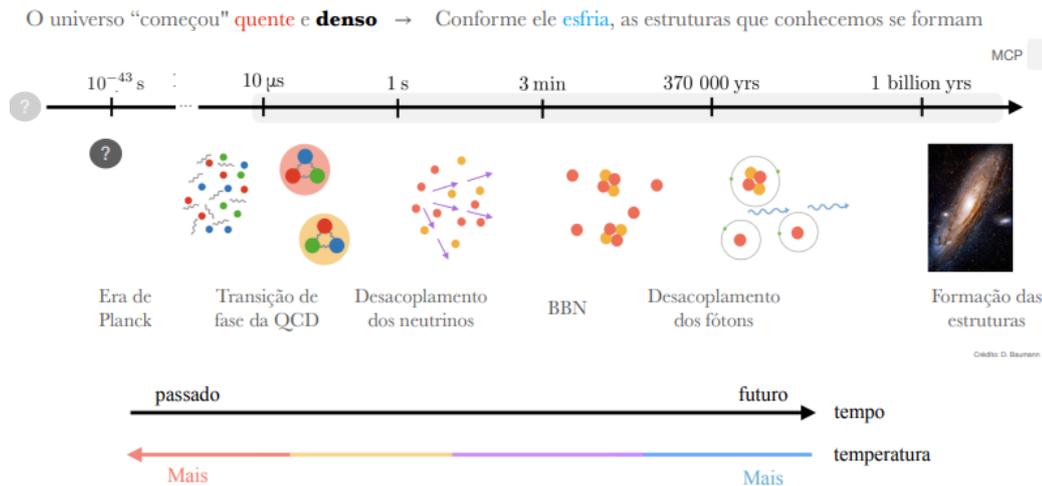
O Modelo Cosmológico Padrão (MCP) descreve a evolução do Universo comandada pela interação gravitacional depois da grande explosão inicial, *Big Bang*, a qual forneceu a energia cinética necessária para o atual movimento de expansão do Universo e tem como base fundamental o citado Princípio Cosmológico.

A partir da explosão inicial – do *Big Bang* –, a evolução do Universo começa em um estado extremamente quente e denso, que fornece a energia cinética indispensável para o atual movimento de expansão do Cosmo (Figura 7).

³⁹ Nebulosas, também conhecidas como berços de estrelas, são nuvens formadas por poeira cósmica, hidrogênio e gases ionizados a partir de restos de estrelas que se desagregaram. As nebulosas apresentam formatos irregulares semelhantes aos das nuvens (JÚNIOR, 2023). Até 1923, todos os objetos extensos – galáxias, aglomerados estelares, nebulosas planetárias, regiões H II – eram classificadas como nebulosas.

⁴⁰ Rosenfeld (2005), Delbem (2010), Ferreira (2016), Ferreira (2022)

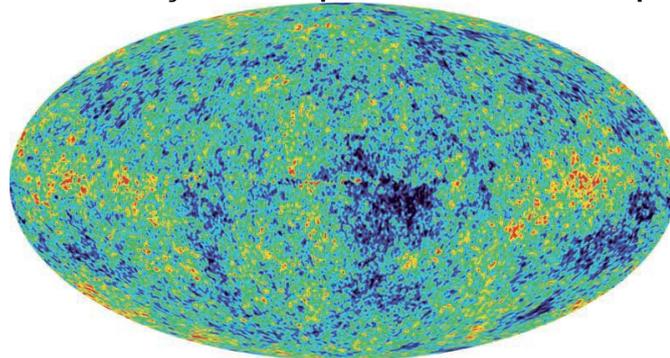
Figura 7 – História térmica do universo ⁴¹



Pelo MCP, o Universo se expande e se resfria. O que restou hoje do grande calor inicial é equivalente a uma temperatura de 270 °C negativos, temperatura essa muito próxima do zero absoluto.

Conforme previsto em 1948 pelo modelo Cosmológico de George Gamow, todo o espaço é permeado por um ‘calorzinho’, a denominada RCF, que resultou do *Big Bang*. Poucas décadas depois, o ‘eco’ da RCF foi detectado por uma antena gigante de comunicação nos laboratórios de Bell, nos Estados Unidos. Atualmente, a RCF representa o melhor espectro de corpo negro⁴² já medido (Figura 8).⁴³

Figura 8 – Mapa com as flutuações de temperatura da RCF medida pelo satélite WMAP⁴⁴



A RCF se revela extremamente homogênea, mas suas pequenas variações de uma parte em 10.000, detectadas no início da década de 1990, deram origem às galáxias, estrelas e a nós. Observa-se, ainda, a presença de alguns elementos leves,

⁴¹ Ferreira (2022, p. 35).

⁴² Pela Mecânica Quântica, o corpo negro é definido como um meio ou substância que absorve toda energia incidente sobre ele, nenhuma parte da radiação incidente é refletida ou transmitida (ROSENFELD, 2005).

⁴³ Rosenfeld (2005, p. 34).

⁴⁴ Steiner (2006, p. 245).

como o deutério e o hélio, formados na fornalha cósmica que era o Universo três minutos depois de seu surgimento – temperatura aproximada de um bilhão de graus. Os outros elementos químicos como carbono, oxigênio, por exemplo, foram sintetizados no interior de estrelas, onde há altíssimas temperaturas, as quais permitem reações nucleares. Esses elementos produzidos nas estrelas são ejetados durante eventos de explosão, conhecidos como supernovas.

Conforme previsto do MCP, cerca da quarta parte de toda a matéria existente no Universo foi convertida em hélio. Há cálculos sofisticados que apontam previsões para a abundância de deutério e lítio no Universo.⁴⁵

Apesar do sucesso do MCP em explicar alguns fenômenos observáveis no Universo, ainda, há alguns problemas que esse modelo não explica. São, pois, esses problemas que levaram a busca por formulação de novos modelos, capazes de incluir os sucessos do MCP e, ao mesmo tempo, sanar suas deficiências. Daí a origem dos modelos inflacionário e alternativo.



4.1.5 Modelos Cosmológicos Inflacionários⁴⁶

Os Modelos Cosmológicos Inflacionários exploram os efeitos quânticos e as interações de curto alcance para descrever a dinâmica da grande expansão inicial e a presença de pequenas inhomogeneidades que concorrem para originar as grandes inhomogeneidades atuais como, por exemplo, os aglomerados de galácticas.

Em 1980, surge o primeiro modelo inflacionário proposto pelo físico americano Alan Harvey Guth (1947-), considerado ‘pai’ da Hipótese da Inflação Cósmica, com o propósito de resolver alguns problemas fundamentais do MCP centrado no *Big Bang*. É um modelo que apresenta concordância experimental com os dados obtidos pelo satélite WMAP.⁴⁷

A Hipótese da Inflação Cósmica de Guth aceita que o início do Universo teria se iniciado com o *Big Bang*. Porém já na sua formação, o Universo sofreria um período de expansão muito acelerada, ou seja, uma inflação que duraria aproximadamente 10-35 segundos contados a partir do *Big Bang*. Resulta, então, que o Universo passa

⁴⁵ Rosenfeld (2005, p. 35).

⁴⁶ Nóbrega (2021, p. 51).

⁴⁷ Vilela, Wuensche e Leonardi (2004, p. 24).

do tamanho de um próton para o tamanho de uma uva, um aumento considerável cerca de 10-50 vezes seu tamanho inicial.⁴⁸

O modelo de Guth prevê que a matéria escura não pode ser totalmente bariônica, uma vez que possui matéria escura fria, que seria formada por partículas com velocidade muito menor do que a velocidade da luz (neutrinos devem ter velocidade próxima a da luz). Além disso, prevê que o Universo contenha maior quantidade de matéria ou energia escura (100 vezes mais) do que da matéria que brilha nas estrelas. Daí, o Universo ser tridimensionalmente plano.⁴⁹

Além disso, modelo inflacionário de Guth seria útil para explicar a estrutura de grandes paredes e buracos observados na estrutura de grande escala do Universo, e que na atualidade não estão casualmente conectadas, pois se situariam antes da expansão inflacionária.⁵⁰ São inúmeros os pré-requisitos para se entender tal estrutura a começar, por exemplo, pela matéria bariônica, matéria escura, matéria escura fria, neutrinos, grandes paredes e buracos, conexão casual, geometria tridimensional do Universo.

Posterior ao modelo inflacionário de Guth, em seguida, surgem os modelos elaborados por Stephen Willian Hawking (1942-), Andrei Dimitrievich Linde (1948-) e Paul Steinhardt (1952-). Por estes dois últimos modelos, nosso Universo é apenas uma bolha de possível mega-Universo (megaverso) de bolhas.

4.1.6 Modelos Cosmológicos Alternativos⁵¹

Os Modelos Cosmológicos Alternativos envolvem o estudo da interação entre matéria escura e energia escura busca por solucionar o problema da coincidência cósmica, a partir desta questão: por que atualmente a matéria e a energia escuras têm valores similares mesmo que entre elas exista considerável variação de tempo?

O problema da coincidência cósmica motiva investigações com o propósito de se entender porque o Universo, mais recentemente, começou a se expandir de forma acelerada. Em outras palavras, busca elucidar a razão pela qual a densidade de energia da matéria escura e da densidade da energia escura têm atualmente valores

⁴⁸ Bassalo (2019).

⁴⁹ Bassalo (2019).

⁵⁰ Diz-se que duas regiões não estão casualmente conectadas se, quando a radiação foi emitida por elas, as regiões no espaço estavam mais distantes do que a distância que a luz poderia ter atravessado desde o *Big Bang*. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/univ/a>

⁵¹ Waga (2005), Rosenfeld (2005) e Ferreira (2016).

similares dado que é muito diferente a variação de tempo existente entre elas, ou seja, suas densidades são da mesma ordem de magnitude.

Os Modelos Cosmológicos Alternativos foram testados a partir da exploração de recentes dados observacionais coletados por astrônomos. Com base nesses estudos é que foram propostos os Modelos Cosmológicos que incluem investigações observacionais sobre matéria escura e energia escura.

Dentre os Modelos Cosmológicos Alternativos encontrados na pesquisa, estão: cosmologia de branas,⁵² táquions da teoria de cordas,⁵³ equações de estado exóticas com gás de Tchaplygin,⁵⁴ aplicação da hipótese de campos escalares.⁵⁵ No entanto, tem sido afirmado que a grande maioria desses modelos não é capaz de explicar o atual valor da constante cosmológica de Albert Einstein, sequer a semelhança observada entre os valores da matéria escura e da energia escura.

Por outro lado, atualmente se observa que entre os cosmólogos há consenso de que novas pesquisa e observações cosmológicas podem levar a uma compreensão mais profunda sobre o problema da coincidência cósmica.

Nesse sentido, para impulsionar a evolução da Cosmologia Observacional parece ser fundamental combinar diferentes hipóteses, testes e métodos, vincular distintas regiões do espaço cósmico a determinados parâmetros observacionais já existentes, explorar novas tecnologias e instrumentos observacionais para, quiçá, descobrir outros modelos mais assertivos.

Bem! Tem sido afirmado que apenas 4% da composição do Universo é o que conhecemos. Considerados os componentes do Universo, esse percentual indica que nos referido à matéria escura, energia escura, matéria normal ou irradiação?

_____ Agora, conceitue matéria escura e energia escura.

⁵² Cosmologia de branas é um modelo espirotico, propõe "explodindo na existência" https://pt.wikipedia.org/wiki/Cosmologia_de_branas

⁵³ Táquios da teoria inflacionária. Um modelo que tenta solucionar os problemas da inflação, impulsiona a inflação, ainda-nao-foi-comprovado.

⁵⁴ Equações de estado de energia escura que preenchem o universo pela aceleração da expansão. https://pt.wikipedia.org/wiki/Equa%C3%A7%C3%A3o_de_estado_de_energia_escura

⁵⁵ A teoria de campos escalares aplicada para explicar a energia escura (VIEIRA, 2018).

Enfim, chegamos ao último Capítulo de nossa Cartilha Educacional.

Agora, vamos estudar sobre tecnologias e instrumentos usados na Cosmologia Observacional para desvendar os mistérios do Universo?

É só mais um tempinho!

ente
urso
n:

co
a

a
avel
org/wiki/

os. Pode ser
energia escura

CAPITULO 5 – TECNOLOGIAS E INSTRUMENTOS DA COSMOLOGIA OBSERVACIONAL

Graças à evolução da Ciência e das tecnologias surgiram novos instrumentos e novas formas que permitem observar o Cosmo. Nesta Cartilha Educativa anotamos algumas peculiaridades das tecnologias e instrumentos usados pela Cosmologia Observacional para a exploração do Universo.

5.1 Telescópio ou Luneta Astronômica⁵⁶

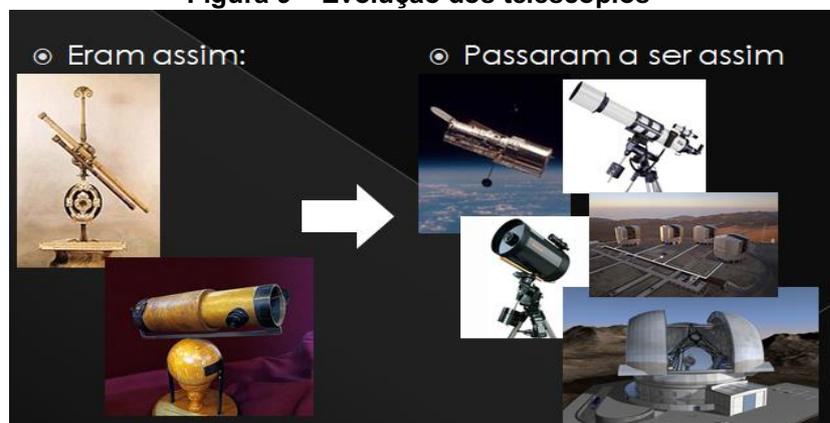
Telescópio – do grego *tele*, que significa longe, e *scopio*, observar – também conhecido como luneta astronômica, é um instrumento ótico que permite estender a capacidade de o ser humano observar e mensurar objetos longínquos.



Com suas lentes, o telescópio amplia a capacidade do olho humano para vista de longo alcance por meio da coleta da luz dos objetos distantes sejam celestes ou não, da focalização dupla dos raios de luz coletados em uma imagem ótica real e sua ampliação geométrica.

Atualmente, a Cosmologia Observacional pode contar com vários tipos de telescópios óticos, telescópios espaciais, rádios telescópios e outros instrumentos observacionais. A Figura 10 mostra uma síntese da evolução do telescópio.

Figura 9 – Evolução dos telescópios⁵⁷



⁵⁶ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio>

⁵⁷ Silva, Ferreira Souza e Pontes (2013).

5.2 Telescópios Ópticos

O telescópio óptico é usado para coletar e concentrar a luz principalmente da parte visível do espectro eletromagnético para ver, observar e fotografar diretamente uma imagem ampliada, permitindo, assim, a coleta de dados por meio de sensores de imagem eletrônica.

Há três tipos principais de telescópio óptico: (i) os refratores que usam lentes (dióptrica); (ii) os refletores que usam espelhos; (ii) e os catadióptricos que usam lentes e espelhos em combinação.

O telescópio refrator, que também é uma espécie de telescópio ótico, usa uma lente com o objetivo para formar uma imagem (conhecida por um telescópio dióptrico). O projeto de telescópio refrator foi originalmente usado em óculos de espião e telescópios astronômicos, mas opera também com lentes de câmara de foco longo, lentes acromáticas. Atualmente, uma das maiores dificuldades reveladas reside na produção desse tipo de lentes (Figura 11).⁵⁸

Figura 10 – Telescópio refrator⁵⁹



O telescópio refletor é uma espécie de telescópio ótico que, por um arranjo simples ou por uma combinação de espelhos curvos, reflete a luz e forma uma imagem. Embora a operacionalização desse tipo de telescópio produza alguns tipos

⁵⁸ UFMG (2023)

⁵⁹ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_refractor

de aberrações óticas – como uma mancha escura, por exemplo – é um telescópio útil para projetos de grandes diâmetros (Figura 12).

Figura 11 – Réplica do segundo telescópio refletor de Newton⁶⁰



O telescópio catadióptico (Figura 13) combina uma forma de espelhos e lentes especificamente para formar uma imagem. Essa combinação é feita para que o telescópio possa ter maior grau de correção de erro do que suas contrapartes de lente ou espelho, todos com aberração mais amplamente livre do campo de visão.

Figura 12 – Cardioscópico⁶¹



⁶⁰ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_refletor

⁶¹ Disponível em: <https://www.telescopiosastronomicos.com.br/catadioptricos.html>

5.3 Radiotelescópios

Os radiotelescópios consistem instrumentos para deteção e medição da radiação eletromagnética de radiofrequência. Seus mecanismos de funcionamento são semelhantes às antenas de televisão para a captação das ondas de rádio e transformação de tais ondas em impulsos elétricos.

Um radiotelescópio é composto por um refletor, um detector no foco, um amplificador e um sistema para registro do sinal observado. Basicamente, um radiotelescópio consiste em uma antena de rádio (antena grande e curva) conectada a um receptor.⁶²

A exploração desses instrumentos no Cosmo, por exemplo, permitem estudar núcleos de certas galáxias, como a Via Láctea, e outras fortes emissoras de ondas de rádio como o meio interestelar, astros, estrelas de nêutrons, buracos negros. Esses instrumentos também funcionam como recetores e emissores nas comunicações entre os investigadores e sondas espaciais.

Historicamente, o primeiro radiotelescópio foi construído por um engenheiro Grobe Reber, nos Estados Unidos, em 1937, em um espaço vago de seu jardim. Em 1966, na Inglaterra, surge o maior radiotelescópio da época, o *Jodrell Bank Observatory*, atuante até 1999, com 76 m de diâmetro. Pouco mais tarde, em 1968, a Rússia constrói o gigantesco RATAN 600 – em russo, PARRAH-600, com diâmetro de 576 m. Em 1986, surge o radiotelescópio de Arecibo, em Porto Rico, com diâmetro de 305 m.

Anos mais tarde o astrônomo britânico Martin Ryle (1918-1984) desenvolveu uma técnica conhecida como interferometria, que utilizava vários radiotelescópios separados para capturas das ondas de rádio, como se juntos eles fossem um enorme telescópio. Este procedimento conduziu a descoberta do primeiro pulsar, em 1968. Anos mais tarde, favorecidos por inovadoras tecnologias, os radiotelescópios gigantes foram substituídos por uma rede de radiotelescópios complementados por um sistema de interferometria, como o Very Large Array (VLA), observatório de radioastronomia, situado na Planície de San Agustin, entre Magdalena e Datil, próximo de Socorro, no Novo México, construído entre 1973-1980, contém 27 antenas. Com evolução tecnológica surgem outros. Citam-se, pois, alguns exemplos de potentes radiotelescópios.

⁶² Fernandes (2007).

a) **Radiotelescópio ALMA** – em inglês *Atacama Large Millimeter Array* – é uma matriz de radiotelescópios no deserto do Atacama, norte do Chile, inaugurado em 2013. Está situado no planalto Chajnantor a 5000 metros de altitude. Composta por 66 telescópios de rádio 12 metros e 7 metros de diâmetro, observando-se em comprimentos de onda de milímetros e submilímetro, ALMA busca fornecer uma visão geral sobre o nascimento de estrelas, durante o início do Universo e imagens detalhadas de formação local de estrela e planeta (Figura 14).

Figura 13 – Radiotelescópio ALMA⁶³



b) **Radiotelescópio APEX** – em inglês *Atacama Pathfinder Experiment* – é um radiotelescópio localizado a 5.100 metros acima do nível do mar, no Observatório Llano de Chajnantor no deserto de Atacama, no norte do Chile, a leste de San Pedro de Atacama. O prato principal tem um diâmetro de 12 metros e é composto por 264 painéis de alumínio com uma precisão de superfície média 17 micrómetros (r.m.s). O telescópio foi oficialmente inaugurado em 25 de setembro de 2005 (Figura 15).

⁶³ Vídeo promocional: <https://www.eso.org/public/switzerland-it/videos/apexfullmoon1/?lang>

Figura 14 – Radiotelescópio APEX⁶⁴



c) Radiotelescópio BINGO – *Baryon Acoustic Oscillations from Integrated Neutral Gas Observations* – em português – Oscilações Acusticas de Bárion de Observações Integradas de Gás Neutro – é um radiotelescópio em fase de construção no Brasil, na Serra do Urubu, município de Aguiar, Estado da Paraíba (Figura 16). O BINGO foi projetado para ser o primeiro instrumento cosmológico brasileiro para observar BAO na faixa de rádio.⁶⁵

Figura 15 – Radiotelescópio BINGO⁶⁶



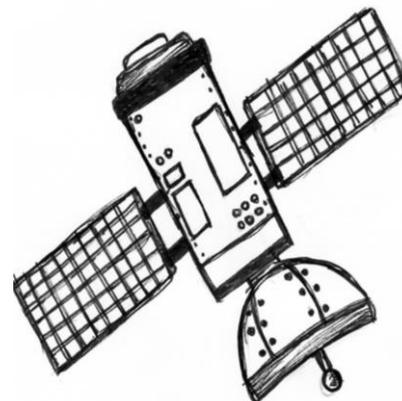
⁶⁴ Disponível em: <https://www.google.com/search?q=imagem+do+Radiotelesco+C3%B3pio+APEX>.

⁶⁵ Wuensche (2022, p. 52).

⁶⁶ Vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IF23A203dpl>

5.4 Sondas Espaciais

Pode-se dizer que uma sonda espacial é uma espécie de nave espacial não tripulada que serve para exploração remota de outros planetas, satélites, asteróis e cometas. Fundamentais para a exploração do espaço, comumente, as sondas espaciais são operacionalizadas por avançados recursos tecnológicos. Carregam vários equipamentos de medida e câmeras fotográficas para fazer medições e enviar imagens para a Terra.



Historicamente, na década de 1950, foram lançadas no espaço as primeiras sondas pelas agências espaciais da antiga União Soviética e dos Estados Unidos da América. Mais recentemente, foram enviadas sondas especiais pelas agências europeia, japonesa, chinesa e indiana. Com o passar do tempo, foram enviadas sondas para todos os planetas do Sistema Solar – além do próprio Sol, da Lua e de alguns cometas. Sondas em Marte são destaques, pois o planeta vermelho poderá ser o próximo destino para viagens tripuladas.

Sondas espaciais como, por exemplo, as Voyager I e II, lançadas em 1977, depois da visita feita em Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, atualmente, estão fora do Sistema Solar.

A Voyager I (Figura 17) foi a primeira a deixar o Sistema Solar. A Voyager 2 é uma nave robótica que se aproximou de Júpiter, Saturno, Urano e Netuno –os quatro planetas gigantes do Sistema Solar – e produziu resultados científicos inestimáveis e excelentes fotografias desses Planetas e seus satélites. Cálculos mostraram que a Voyager 1 deixou heliosfera no dia 25 de agosto de 2012, e atingiu em setembro de 2013 a distância de 19 bilhões de quilômetros do Sol. Comumente, as sondas espaciais levam consigo informações sobre a Terra e o ser humano, imagens, sons e músicas, gravadas em discos de cobre folheados a ouro.

Figura 16 = Imagem da sonda espacial Voyager 1⁶⁷



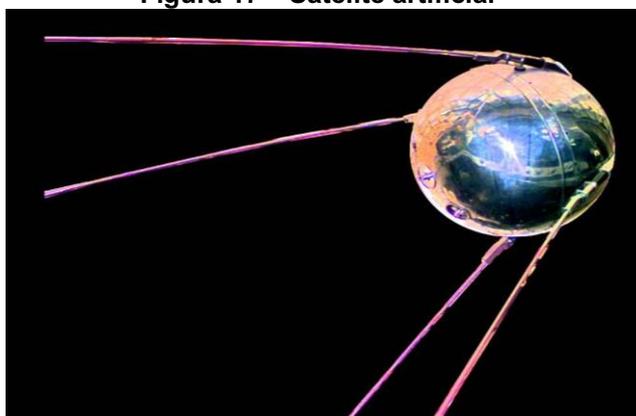
5.5 Satélites Artificiais

Um satélite artificial é qualquer corpo construído pelo homem e posicionado em órbita ao redor da Terra ou de outro planeta. A expressão satélite artificial é usada disintiguir referência a satélites naturais, caso da nossa Lua, por exemplo.

Historicamente, o primeiro satélite artificial posto pela humanidade em órbita ao redor da Terra foi o Sputnik, criado na Rússia e lançado em 1957 (Figura 18).

Contudo, atualmente há uma série de satélites em órbita. Além dos satélites do Sistema de Posicionamento Global – o norteamericano GPS e o russo Glonass –, satélites de comunicações, satélites científicos, satélites militares. Entretanto, há grande quantidade de lixo espacial, às vezes, confundidos como se fosse um satélite artificial. É preciso diferenciar a função dos satélites artificiais de natureza científica daqueles que servem para a meteorologia, telecomunicação de dados, informações militares e outros úteis para mapeamentos ou espionagem do sistema terrestre.

Figura 17 – Satélite artificial⁶⁸



⁶⁷ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Voyager_1#/media/Ficheiro:Voyager.jpg

⁶⁸ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Sputnik_asm.jpg

5.6 Estações Orbitais

As estações orbitais, estações espaciais, grandes satélites colocados em órbita, habitados por astronautas que aí vivem e trabalham durante algum tempo – semanas ou meses. Citamos, como exemplo, a Estação Espacial Internacional – em inglês *International Space Station*, ISS (Figura 19).

Figura 18 – Estação espacial internacional⁶⁹



A ISS consiste em uma espécie de laboratório espacial totalmente concluído. Em 1998 sua montagem teve início, sendo concluída em 2011, durante a missão STS135, com o ônibus espacial Atlantis. Desde então, ela se encontra em uma órbita baixa de 408 x 418 km, que possibilita ser vista da Terra a olho nu. A ISS se encontra na órbita da Terra a uma altitude aproximada de 400 km, uma órbita tipicamente designada de órbita terrestre baixa, viaja a uma velocidade média de 27 700 km/h, completando diariamente o equivalente a 15,70 órbitas.

Devido à baixa altitude e considerado seu arranjo aerodinâmico, a ISS precisa ser constantemente reposicionada na órbita. Em media, ela perde 100 metros de altitude por dia e orbita a Terra em um período aproximado de 92 minutos.

Considerado um raio terrestre de 6 378,1 km, registra-se que a gravidade na ISS varia de 8,3m/s² a 8,4m/s², pela igualdade da Lei da Gravidade Universal e seu peso, o que é considerável. O efeito 'gravidade zero' ocorre porque a ISS cai eternamente devido à curva originada pela força centrípeta a que está sujeita.

⁶⁹ Disponível em: Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_Espacial_Internacional

A ISS era servida principalmente pelo Atlantis – cuja última missão acabou em 8 de julho de 2011 –, pela espaçonave Soyuz – com capacidade para três cosmonautas – e espaçonave Progress – não tripulada. Recentemente foi noticiado que a ISS está pronta para abrigar até seis tripulantes. Até julho de 2006, todos os tripulantes permanentes da ISS eram integrantes dos programas espaciais de origem russa ou norte-americana. Recentemente, a ISS recebe tripulantes de agências espaciais europeias, canadense e japonesa. Até então, a ISS foi visitada por astronautas de outros países e por turistas espaciais. Porém, em janeiro de 2022, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) anunciou que a ISS deverá se aposentar em janeiro de 2031.⁷⁰

5.7 Robôs de Exploração

Um robô de exploração espacial ou sonda espacial consiste em um veículo capaz de recolher imagens e amostras da superfície dos astros por si explorados. Possui vários tipos de câmaras e antenas, para transmissão de dados, e um grande contentor que se destina ao armazenamento das amostras recolhidas.

Em órbita desde 2004, os robôs de exploração *Spirit* (MER-A)⁷¹ e seu irmão gêmeo *Opportunity* (MER-B)⁷², exploraram a superfície de Planeta Marte, enviaram belíssimas imagens e recolheram amostra da superfície planetária. Foi planejada uma missão de três meses para os robôs investigarem as rochas e a constituição da litosfera marciana. Porém, finda a missão em Marte, *Spirit* permaneceu ativa até 2010 (Figura 20). Conforme a NASA, em meados de 2014, o *Opportunity* se tornou um veículo com rodas destinado a percorrer a maior distância fora da superfície terrestre, totalizando 40 km desde sua chegada a Marte em 2005. Em 2019, sua missão foi encerrada, depois de mais de 15 anos de atividade (Figura 21).

⁷⁰ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_expedi%C3%A7%C3%B5es_%C3%A0_Esta%C3%A7%C3%A3o_Espacial_Internacional

⁷¹ Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Spirit_\(sonda_espacial\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Spirit_(sonda_espacial))

⁷² Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Opportunity_\(sonda_espacial\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Opportunity_(sonda_espacial))

Figura 19 – Imagem do robô de exploração *Spirit* (MER-A)⁷³



Figura 20 – Imagem do robô de exploração *Opportunity* (MER-B)⁷⁴



Em Marte, o robô *Spirit* pousou na grande e intrigante cratera Gusey. O veículo, com os seus instrumentos, examinou rochas que mostraram claros indícios de que Marte já teve regiões úmidas e não ácidas que podem ter sido favoráveis para a vida. O robô *Opportunity* pousou em *Meridiani Planum*, no polo norte. Este robô detinha tecnologia avançada, inovadora, e altíssimo investimento.

Mas, apesar de *Meridiani Planum* ser uma planície, sem campos de rochas, o robô *Opportunity* rolou para a pequena cratera *Eagle* com apenas 20 metros de diâmetro. Na parede da cratera foi observada uma formação rochosa intrigante com rochas colocadas em camadas, que podem ter várias origens, que pode incluir depósitos de cinza vulcânica até sedimentos causados pelo vento ou pela água.

⁷³ Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Spirit_\(sonda_espacial\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Spirit_(sonda_espacial))

⁷⁴ Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Opportunity_\(sonda_espacial\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Opportunity_(sonda_espacial))

Depois de pesquisas feitas pelo robô, a NASA chegou à conclusão que, na verdade, *Opportunity* pousou em uma costa de um antigo mar salgado que existia em Marte.

5.8 Telescópios Espaciais

Os telescópios espaciais formam o grupo de instrumentos especiais de investigação que são lançados para o espaço, acima da atmosfera terrestre, para a observação do Universo. São dotados de câmaras fotográficas e outros instrumentos úteis a recolha de dados e tem capacidade para obter imagens com muita nitidez de astros situados a grandes distâncias.

O alcance de nítidas imagens decorre da altitude em que orbitam os telescópios espaciais. Nessa altitude há pouca presença de gases, inexistente a poluição luminosa e no espaço é sempre noite quando se mira para o Sol. Com a ação dos telescópios espaciais é possível ter uma visão muito mais clara e nítida do Universo, detectar frequência e comprimento de onda de todo o espectro eletromagnético, captar sinais inteiros da luz em intervalos como do infravermelho, ultravioleta, dos raios-x e gama, sem grandes dificuldades. Os telescópios em solo não conseguem captar essas emissões uma vez que grande parte delas está sujeita a influência de nuvens, climas ou turbulências e acaba absorvida pela atmosfera. Contudo, vale lembrar que os telescópios espaciais não substituem os telescópios de solo, os quais têm desempenham papel fundamental no desenvolvimento das áreas de atuação da Astronomia, Astrofísica e Cosmologia Observacional.

Como exemplos, citam-se o Telescópio Hubble e Telescópio Kepler, dotados de um dispositivo CCD (*Charge-Coupled Device* ou dispositivo de carga acoplada) para captar a luz em uma dada gama de espectro, e, com auxílio de filtros, convertê-la em corrente elétrica para ser medida por outros aparelhos. Às vezes, os telescópios espaciais são instalados em satélites artificiais.

O último telescópio espacial lançado em 25 de dezembro de 2021, a partir do Centro Espacial de Kourou, na Guiana Francesa, para navegar pelo Cosmo foi o Telescópio James Webb (em inglês *James Webb Space Telescope*, JMST). Sua missão é estudar a formação das primeiras galáxias, a evolução das estrelas e das galáxias e a formação dos sistemas planetários.⁷⁵

⁷⁵ Disponível em: <https://querobolsa.com.br/enem/fisica/telescopio-espacial-james-webb>

Dentre seus principais objetivos científicos estão: a medição das distâncias dos primeiros raios luminosos emitidos depois do *Big Bang*, o fim da era escura, estudos mais detalhados sobre a matéria escura, a evolução do sistema solar, a formação das galáxias e a busca por sistemas solares possam ser habitáveis.⁷⁶ A colocação em órbita do Cosmo do JMST “[...] representa uma conquista significativa para a humanidade e a abertura de nova era na astronomia”.⁷⁷

Agora, brevemente, vamos estudar cada um deles. Começamos com o Telescópio Espacial Hubble.

5.9.1 Telescópio Espacial Hubble⁷⁸

O Telescópio Espacial Hubble – em inglês *Hubble Space Telescope* – cujo nome traz uma homenagem ao astrônomo norte-americano Edwin Hubble, foi lançado pelo Ônibus Espacial Discovery, em 24 de abril de 1990, para se situar acima dos níveis da atmosfera terrestre – posicionado há 600 quilômetros distantes da superfície terrestre, na chamada órbita terrestre baixa – para, assim, produzir imagens mais acuradas. É um potente telescópio espacial que orbita grandes distâncias da Terra e que permite aos cientistas em *Greenbelt*, no Estado americano de *Maryland*, Condado de *Prince George's*, observarem objetos e fenômenos espaciais há bilhões de anos-luz de distância (Figura 22).

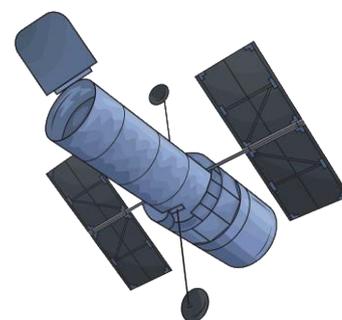


Figura 212 – Imagem do telescópio espacial Hubble⁷⁹



⁷⁶ Fortes; Azevedo; Kolland (2018, p. e3306-2)

⁷⁷ Coelho (2022, p. 112).

⁷⁸ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_espacial_Hubble

⁷⁹ Disponível em: NASA: <https://www.infoescola.com/telescopios/telescopio-hubble/>

O Telescópio Espacial Hubble funciona com energia solar, captada por painéis solares com cerca 30 metros quadrados (30m²) e tem por objetivo investigar a composição e as características físicas de corpos celestes, observar galáxias e estrelas para levantar dados observacionais.

Historicamente, entre 1970 a 1980 é que foi projetado o Telescópio Espacial Hubble, lançado no espaço na Estação Kennedy, na Ilha de Merritt, Flórida, Estados Unidos da América (EUA), pela NASA, como resultado de um projeto científico conjunto entre a agência norte-americana (NASA) e a agência europeia (ESA) – que arcaram com um custo total de aproximadamente dois bilhões de dólares.⁸⁰

Entre suas principais características, o Telescópio Espacial Hubble é do tipo refletor, tendo como principal elemento um espelho de 2,4 metros de diâmetro. Seu período de translação ao redor da Terra é de 95 minutos e 5 segundos (95min 05 seg.) a uma velocidade média de 28 mil quilômetros por hora (28.000 km/h), e faz 14 voltas completas em torno da Terra em 24 horas (24h). Possui uma massa de 11.600 quilogramas (11.600kg) e seu comprimento é igual a 13,2 metros (13,2m).

Dentre suas principais descobertas, os cientistas em *Greenbelt* anotam a geração de imagens de mais de mil e quinhentas (1500) galáxias, nebulosas, quasares⁸¹ e outros fenômenos em detalhes, revelando ser o Universo imenso e confirmando que a idade do Universo é de aproximadamente 13,7 bilhões de anos.

O Telescópio Espacial Hubble registra, ainda, uma explosão de raios gama enquanto acontecia e revela o evento cósmico causador de tal explosão e, em tempo real, registra imagens da colisão de um cometa com o Planeta Júpiter; constata a existência de gás carbônico (CO₂) na superfície do exoplaneta HD 189733b, que é um planeta extrassolar⁸² gigante, parecido com Júpiter; identifica outros planetas fora do Sistema Solar; captura imagens de colisão entre galáxias na constelação de *Boötes*; detecta buracos negros supermassivos; analisa a atmosfera de um planeta fora do nosso Sistema Solar; observa o comportamento da matéria escura e a expansão do Universo; identifica quatro satélites ou lua de Plutão, o que permitiu que alguns cientistas observassem o comportamento errático de algumas luas, causado pela

⁸⁰ Brasil escola: Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/james-webb-sucessor-hubble.htm>

⁸¹ Quasares – acrônimo do quase *StrelAr Source* ou fontes quase estelares – são galáxias com buracos negros que emitem ondas de rádio a partir do centro. São objetos extremamente compactos e luminosos, parecido com uma estrela vista com luz visível (SANTOS, 2016, p. 42).

⁸² Planeta extrassol ou Exoplaneta é um planeta fora do nosso Sistema Sola. A primeira evidência possível de um Exoplaneta foi observada em 1917, mas não foi reconhecida como tal. A primeira confirmação da existência de Exoplanetas ocorreu em 1992, mas em 2003, foi confirmada a existência de um planeta diferente (Exoplanetas, WIKIPÉDIA, 2023).

atração gravitacional concorrente que as afeta e que provém de Plutão e de sua maior lua, a Caronte.

Reunindo informações dos Telescópios Espaciais Hubble e Kepler, os cientistas observam o que possivelmente seja a primeira evidência de uma lua que orbita um planeta fora do nosso Sistema Solar. Provavelmente, a lua orbite um planeta gasoso, o qual, por sua vez, orbita a estrela chamada Kepler-1625.

Pela análise das imagens geradas pelo Telescópio Espacial Hubble, os astrônomos descobrem que o sumiço de uma estrela é gerado por um buraco negro de porte mediano – com cerca de 50 mil massas solares –, bem menor que os observados no centro de muitas galáxias, que podem alcançar até bilhões de massas solares. Essa descoberta é relevante para a Ciência, pois o assunto sobre buracos negros medianos ainda causa muita discussão. Porém, faz-se necessário a realização de vários testes para alcançar a certeza de que se trata de um buraco negro menor, e não uma estrela de nêutrons – que se forma partir do conglomerado de pedaços remanescentes de uma estrela que explodiu.⁸³

Há alerta na comunidade científica diante da possibilidade de o Telescópio Espacial Hubble enfrentar ameaças, particularmente em função do alto número de satélites no espaço do Cosmo. Um estudo comparativo com imagens tiradas em 2002 a 2021 revelou aumento na porcentagem de suas imagens estragadas devido ao rastro de satélites. Entre 2009 e 2020, a chance de ver um satélite em imagens do Telescópio Espacial Hubble era de apenas 3,7%. Em 2021, essa chance sobe para 5,9%, e, dessa forma aumenta a possibilidade de comprometimento das imagens produzidas pelo citado Telescópio. Afirma-se que, a constante presença do *Starlink* da *SpaceX* no Cosmo, possivelmente seja um dos fatores que comprometem a produção de imagens cosmológicas.⁸⁴

5.9.2 Telescópio Espacial Kepler⁸⁵

O Telescópio Espacial Kepler – em inglês *Kepler Space Telescope* – recebe esse nome em homenagem ao astrônomo Johannes Kepler. Foi lançado pela NASA em uma órbita



Johannes Kepler

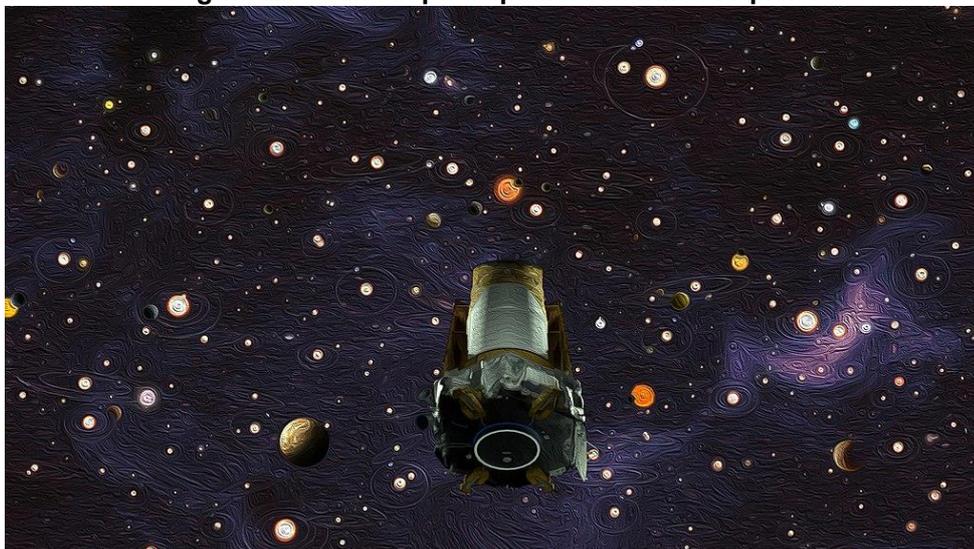
⁸³ Cavalcante (2020). Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/03/02/ciencia-e-espaco/hubble-enfrenta-ameacas-da-spacex-e-satelites-de-outras-empresas/>

⁸⁴ Figueiredo (2023).

⁸⁵ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_Espacial_Kepler

heilocêntrica seguindo a Terra no dia 6 de março de 2009 e atuou até o dia 15 de novembro de 2018, quando sua missão é encerrada (Figura 23).

Figura 22 – Telescópio especial Johannes Kepler⁸⁶



O Telescópio Espacial Johannes Kepler é um observatório espacial do tipo refrator projetado pela NASA, projetado para pesquisar uma parte da região da Via Láctea e descobrir exoplanetas do tamanho da Terra, posicionada a 151.587.522 quilômetros, permanece em perseguição à órbita solar da Terra entre 2009 a 2018. Seu objetivo era procurar exoplanetas com características habitáveis fora do Sistema Solar. Durante o tempo que permaneceu em órbita descobriu milhares de exoplanetas, mas apenas 161 são sólidos. Em resumo, sob um campo de visão que abrange cerca de 1/400 do Céu, listam-se as principais de suas principais descobertas desse Telescópio, anunciada em fevereiro de 2011:

- a) 1.235 candidatos a planeta;
- b) 662 com dimensões semelhantes à de Netuno;
- c) 288 "super-Terras", entre 1,25 e 2 vezes o tamanho da Terra;
- d) 184 gigantes gasosos, 165 do tamanho próximo ao de Júpiter e 19 maiores que Júpiter;
- e) 170 possíveis sistemas multiplanetários, com dois ou mais candidatos orbitando a mesma estrela;
- f) 68 "exo-Terras", com dimensões até 1,25 vezes o tamanho da Terra;

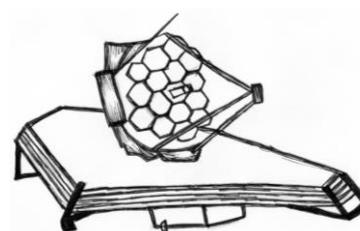
⁸⁶ Disponível em: https://www.mozaweb.com/pt/Extra-Cenas_3D-Telescopio_especial_Kepler-215845

- g) 54 "exo-Terras" circulando na zona habitável ao redor de suas estrelas, podendo ter água em estado líquido em suas superfícies;
- h) 5 "exo-Terras" com o mesmo tempo do tamanho da Terra e orbitando na zona habitável.

Em 2011, o Telescópio Espacial Johannes Kepler observa o primeiro planeta rochoso descoberto fora do Sistema Solar, denominado de Kepler-10b, que tem uma massa superior a massa da Terra, cerca de 3,3 a 5,7 vezes maior, e um raio de 1,4 vez maior do que o raio do Terra. Ele está localizado a uma distância de 564 anos-luz da Terra. Mas o Kepler-10b está muito perto da estrela que orbita, a Kepler-10, razão pela qual é considerado muito quente, o que, em hipótese, seria inapropriado para abrigar seres vivos. Em 2015, é descoberta a existência do exoplaneta Kepler-452b, considerado uma grande Terra, pois tem um tamanho 60% maior e massa cerca de cinco vezes maior do que o Planeta Terra. Está localizado a 1400 anos-luz da Terra e dentro da zona habitável da estrela que orbita. O Kepler-452b leva 385 dias para orbitar a estrela Kepler-452, 10% maior do que o sistema Sol da Terra. Os cientistas acreditam que o exoplaneta Kepler-452b seja rochoso, com muitos vulcões ativos e uma atmosfera densa.⁸⁷

5.9.3 Telescópio Espacial James Webb (JWST)⁸⁸

O Telescópio Espacial James Webb – em inglês: *James Webb Space Telescope* ou JWST – (Figura 25) foi desenvolvido pela NASA em conjunto com a *Canadian Space Agency* (CSA) e a *European Space Agency* (ESA), na tradução livre, respectivamente, Agência Espacial Canadense e Agência Espacial Europeia e lançado no espaço em 25 de dezembro de 2021.



Em homenagem a James Edwin Webb, o objetivo da NASA/CSA/ESA na construção do JWST era colocar no espaço cósmico um observatório para captar a radiação infravermelha. Pretendeu-se, ainda, substituir parcialmente as funções do Telescópio Espacial Hubble.



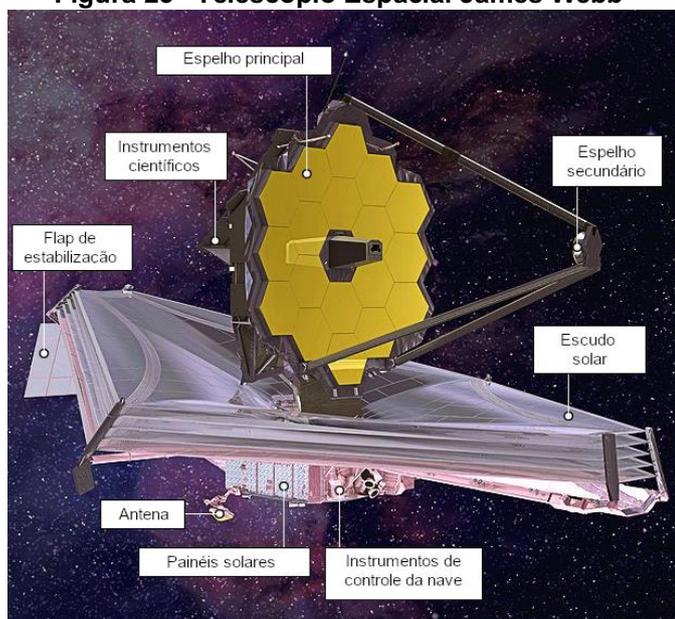
James E. Webb

⁸⁷ Disponível em: <https://recreio.uol.com.br/noticias/planetario/cacador-de-planetras-conheca-o-telescopio-kepler.phtml>

⁸⁸ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_Espacial_James_Webb

A concepção tecnológica e operacional do JWST se baseia no legado dos telescópios espaciais antecessores para expandir os limites do conhecimento humano sobre o Universo, em particular, quanto à formação das primeiras galáxias e ao horizonte de outros mundos.

Figura 23 –Telescópio Espacial James Webb⁸⁹



A massa do JWST equivale a aproximadamente metade da massa do Telescópio Espacial Hubble. Seu espelho primário possui um diâmetro 2,5 vezes maior e uma área de espelho seis vezes maior que a do telescópio Hubble a fim de permitir maior captação da luz – tal como registrado anteriormente, é equipado especialmente para a captura da radiação infravermelha – e opera em maior distância da Terra, na órbita do halo que o segundo ponto de Lagrange (L2).⁹⁰

No pós-lançamento, o JWST levou cerca de três meses para atingir a sua órbita final e chegar ao seu destino em 24 de janeiro de 2022. A estrela HD 84406⁹¹ foi seu principal alvo visual alcançado. A publicação das primeiras imagens científicas coloridas e com espectroscopia foi realizada no dia 12 de julho de 2022, pois as anteriores estavam desfocadas e não poderiam ser utilizadas em trabalhos científicos.

⁸⁹ Disponível em: https://webbtelescope-org.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc

⁹⁰ O ponto L2 de Lagrange está localizado na parte exterior da órbita terrestre ao longo da reta que une a Terra ao Sol. Neste ponto está instalado, desde 2001, o satélite de Wilkinson *Microwave Anisotropy Probe* (WMAP) e, desde 2021, o Telescópio Espacial James Webb que complementa o Telescópio Espacial Hubble. Sabe-se que os pontos de L1 e L2 de Lagrange são instáveis, daí ser necessário o ajuste da escala orbital a cada 23 dias aproximadamente, até se atingir novamente determinado ponto de equilíbrio (WIKIPÉDIA, 2023).

⁹¹ A HD 84406 é uma estrela do tipo G espectral que tem um movimento próprio alto e está situada na constelação da Ursa Maior, a aproximadamente 258,5 anos-luz de distância da Terra (WIKIPÉDIA, 2023).

Sua vida útil está limitada pela distância do Ponto de Lagrange L2, além da órbita da Lua e fora do alcance de qualquer nave tripulada disponível atualmente. Essa posição impedirá que o telescópio sofra manutenção e poderá comprometer seus estoques limitados de refrigeradores e combustíveis usados para mantê-lo em órbita. Contudo, o JWST representa um esforço científico tecnológico na busca por respostas a inúmeras questões no campo da Cosmologia Observacional.

Sua missão é examinar a radiação infravermelha resultante da grande expansão – *Big Bang* – e realizar observações sobre a infância do Universo, sendo o seu principal objetivo é colocar um observatório no espaço para captar a radiação infravermelha, observar a formação das primeiras galáxias e estrelas, estudar a evolução das galáxias e verificar os processos de formação de estrelas e planetas.

A importância do JWST reside na substituição parcial das funções dos Telescópios Espaciais Hubble e Spitzer – em homenagem ao astrofísico estadunidense Lyman Spitzer –, sendo o único telescópio espacial capaz de caracterizar as atmosferas de exoplanetas do tamanho da Terra.

As principais características do JWST são:

- a) É um telescópio do tipo refletor para reflexão da luz.
- b) Seu principal elemento é um espelho primário de 6,5 metros de diâmetro que serve para capturar e refletir a luz, sendo composto por 18 espelhos hexagonais menores, feitos de berílio (metal alcalino-terroso) e revestidos com ouro (metal alcalino-terroso).
- c) Possui equipamento para a captação da radiação infravermelha, que é invisível aos olhos humanos.
- d) Opera em uma órbita de halo e circula em torno de um ponto no espaço que constitui o segundo ponto Sol-Terra de Lagrange L2.
- e) Posiciona-se ao redor do Sol cerca de aproximadamente 1.500.000 km para além da órbita da Terra.
- f) Enquanto orbita, a uma velocidade de próxima a um bilhão de quilômetros por hora, sua posição orbital varia entre 250.000 km a 832.000 km da L2 e se mantém fora da sombra da Terra e da Lua.
- g) O dispositivo de bloqueio dos efeitos da luz e do calor mantém o Sol, a Terra e a Lua no mesmo lado da espaçonave em tempo integral.

- h) Mantém a temperatura da espaçonave constante e abaixo de -222 °C a fim de realizar observações infravermelhas fracas.

As principais descobertas do JWSR até então registradas são:

- a) Identificação de uma segunda estrela moribunda na Nebulosa do Anel Sul e visualizou o Quinteto de Stephan, um conjunto de galáxias.
- b) Observações revelam as primeiras fases de formação estelar na Nebulosa Carina. Observou evidências sobre a existência de água, neblinas e nuvens em um exoplaneta quente, conhecido como WASP-96b.
- c) Revelação de fortes indícios da maneira como as galáxias interagem e desencadeiam a formação de estrelas a partir da exploração de conchas de poeira e de gás de estrelas envelhecidas.⁹²

As principais contribuições à Cosmologia Observacional, trazidas pelo JWST durante o ano 2023 somente entre janeiro a agosto foram:⁹³

Estudos observacionais anteriores anotaram que em fase avançada de evolução estelar, as estrelas Wolf-Rayet perdem massa rapidamente. No entanto, nem todas as estrelas passam por uma curta fase Wolf-Rayet antes de explodirem, tornando-as difíceis de detectar e estudar. Então, devido à tecnologia de infravermelho, o JWSR observou uma estrela Wolf-Rayet,⁹⁴ a estrela WR 124, localizada na constelação de Sagitta, há cerca de 15.000 anos-luz de distância.

O JWST descobriu um buraco negro supermassivo mais distante e ainda em atividade, com uma massa aproximadamente de nove milhões de vezes a massa solar. Esse buraco está escondido no centro da galáxia CEERS 1019, que existia apenas 570 milhões de anos, depois de ocorrido o Big Bang. Esse buraco negro foi considerado pela NASA incomumente pequeno, diante de sua formação ter ocorrido no início do Universo.

No início de janeiro de 2023, a NASA relatou a descoberta do primeiro exoplaneta de Webb, identificado por LHS 475 b, situado a quarenta e um anos-luz da Terra e que, pelo espectro de transmissão do JWST, trata-se de um planeta

⁹² Disponíveis em: <https://www.youtube.com/watch?v=mjKTg3I79es>.

⁹³ Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/08/04/ciencia-e-espaco/james-webb-capta-imagens-ineditas-de-galaxias-ha-quase-dez-bilhoes-de-anos-luz/>

⁹⁴ Estrelas Wolf-Rayet são um tipo heterogêneo de estrelas com espectros anormais apresentando linhas de emissão intensas e largas de hélio e nitrogênio (subtipo WN) ou hélio, carbono e oxigênio (subtipos WC e WO), no lugar das linhas de absorção típicas de estrelas normais. Nesse modelo, há a compreensão de que essas estrelas, que estão a ponto de morrer, provavelmente forneceram ao Universo jovem elementos pesados que, possivelmente, levaram à formação de novas estrelas. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Estrela_Wolf-Rayet#.

terrestre com tamanho equivalente ao da Terra. Pela alta sensibilidade do JWST foi possível detectar uma variedade de moléculas na atmosfera, mas ainda não foi possível determinar se o LHS 475 b possui ou não atmosfera.

Foram descobertas as primeiras moléculas orgânicas complexas – compostos químicos complexos – na galáxia SPT0418-47, localizada a doze bilhões de anos-luz da Terra. Essa galáxia se formou quando o Universo tinha 1,5 bilhão de anos (menos de 10% da sua idade atual). Além disso, foi observada a presença das moléculas HAP, conhecidas como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. Apesar de as moléculas orgânicas serem difíceis de observar, pois ficam ‘mascaradas’ pela poeira cósmica, a visão infravermelha do JWST e sua lente gravitacional permitiram coletar esse conjunto de dados pela primeira vez na trajetória história da Cosmologia Observacional.

O instrumento *Near Infrared Spectrograph* (NIRSpec) presente no JWST registrou novas imagens do planeta Saturno, que revelam algumas de suas luas e três de seus satélites: Dione, Encélado e Tétis.

Também foi observada a PDS 70 (ou V1032 Centauri), uma jovem estrela de pequena massa, qualificada como T Tauri que são estrelas conhecidas como progenitores do nosso Sol e possui campos magnéticos extremamente fortes.

A estrela PDS 70 tem uma massa próxima a 0,76 massas solares e uma idade estimada de 5,4 milhões de anos, portanto, é mais jovem que o nosso Sol, que tem uma idade estimada de 4,57 bilhões de anos. Seu disco protoplanetário contém dois planetas extra-solares chamados PDS 70b (que foi o primeiro protoplaneta confirmado a ser fotografado) e o PDS 70c. Esses dois planetas identificados são do tipo joviano quente, ou seja, são dois planetas gigantes gasosos. Justamente pelo fato de ao redor da estrela já existirem dois planetas em órbita que torna única a descoberta de água. Consiste, então, na primeira descoberta desse tipo em um disco protoplanetário no qual já estão presentes esses dois planetas, ou seja, em um disco relativamente antigo.⁹⁵

⁹⁵ Meteored tempo.com. Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/actualidade/mais-uma-descoberta-incrivel-pelo-telescopio-james-webb-agua-protoplaneta-pds70-estrela.html>

5.10 Satélites, Sonda e Instrumentos da Cosmologia Observacional

Além dos telescópios espaciais, a serviço da Cosmologia Observacional há o satélite COBE (*Cosmic Background Explorer*, em português, Explorador do Fundo Cósmico) e a sonda WMAP (*Microwave Anisotropy Probe*, na tradução livre, Sonda Wilkinson de Anisotropia de Microondas) e outros instrumentos de alta precisão como aqueles instalados em Observatórios nos Estados Unidos da América, em Monte Wilson e em Monte Palomar, e no Observatório do Pico dos Dias no Estado de Minas Gerais, Brasil.

Lançado em 1989 com missão para quatro anos, o satélite COBE, ou Explore 66 (Figura 26), foi o primeiro satélite construído e utilizado pela Cosmologia Observacional para investigar a radiação cósmica de fundo (RCF) do Universo e fornecer medidas para ajudar na compreensão sobre o Cosmo.⁹⁶

Figura 245 – Satélite COBE⁹⁷



Há outros instrumentos de alta precisão como aqueles instalados em Observatórios nos Estados Unidos da América, em Monte Wilson e em Monte Palomar e, no Brasil, o Observatório do Pico dos Dias no Estado de Minas Gerais.

O Observatório de Monte Wilson, no Condado de Los Angeles, abriga telescópios de valor histórico, como: o telescópio Hooker (2,5 m), o maior telescópio de abertura em funcionamento entre 1917-1949, e o telescópio de 60 polegadas (1,5m), o maior do mundo amador do instalado em 1908 (Figura 26). O Observatório Monte Palomar, em San Diego, Califórnia, é operado pela *California Institute of*

⁹⁶ Villela Neto (2009).

⁹⁷ Disponível em: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/explorer_cobe.htm

Techonology, tendo a Universidade de Cornell como parceira. Contém três grandes telescópios: Telescópio Hale (5,1m), o Telescópio Samuel Oschin (1,2m) e um telescópio refletor (1,5m) (Figura 28).

O Observatório do Pico dos Dias contém três telescópios: o telescópio Perkin-Elmer (1,6m); o telescópio Boller & Chivens (0,6m) e o telescópio Zeis (0,6m) (Figura 29).

Figura 256 – Observatório em Monte Wilson nos Estados Unidos da América⁹⁸

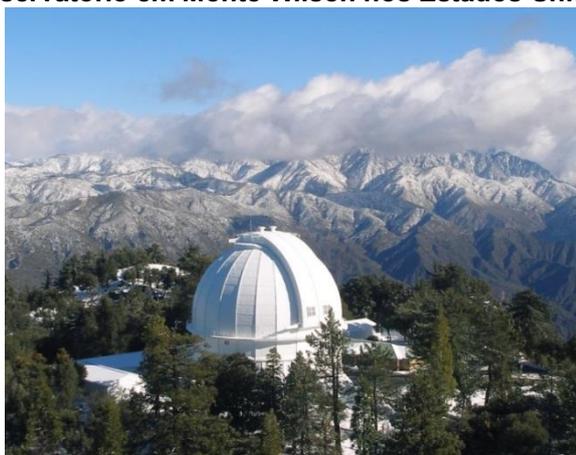


Figura 26 – Observatório em Monte Palomar nos Estados Unidos⁹⁹



⁹⁸ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Observat%C3%B3rio_Monte_Wilson

⁹⁹ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Observat%C3%B3rio_Palomar

Figura 278 – Observatório do Pico dos Dias em Minas Gerais, Brasil¹⁰⁰



Bem! Chegamos ao final do último capítulo de nossa Cartilha Educativa. Abordamos parte das tecnologias e dos instrumentos explorados pela Cosmologia Observacional para investigar o Universo.

Ao longo do capítulo 5 – Tecnologias e Instrumentos da Cosmologia Observacional – há várias abordagens sobre diferentes conceitos. Qual delas despertou mais a tua curiosidade? _____

Você sabia que há a possibilidade de visitação no Polo Astronômico da Itaipu, em Foz do Iguaçu ou no Observatório do Pico dos Dias? _____ Gostaria de visitá-los? _____

Agora, que tal você pesquisar *on-line* sobre peculiaridades do Telescópio Espacial Fermi de Raios Gama (*Fermi Gamma-ray Space Telescope*), do Observatório de Raio-X Chandra (*Chandra X-ray Observatory*) e do Observatório SOFIA (*Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy*)? Anote aqui algumas curiosidades que você descobriu e depois as traga para socialização deste conhecimento com seus colegas na próxima nossa aula de Física.

Então, até lá!

¹⁰⁰ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Observat%C3%B3rio_do_Pico_dos_Dias

REFERÊNCIAS

- BASSALO, J. M. F. **Curiosidades da física**. 2019. Disponível em: <https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/folclore396.pdf>. Acesso em: 12 maio 2023.
- BASILIO, M. **Universo. Afinal, como se formaram os elementos químicos**. Departamento de Química CEFET MG. 2021. Disponível em: <https://www.quimicatecnologica.bh.cefetmg.br/2021/02/01/como-os-elementos-quimicos-foram-formados/>. Acesso em: 12 maio 2023.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular para o ensino médio – BNCC**. Brasília: MEC/ Secretaria de Educação Básica, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. **PCN + ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais – ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2002.
- CAVALCANTE, D. **Telescópio Hubble: 30 anos de história, descobertas e revolução na astronomia**. 2022. Disponível em: <https://canaltech.com.br/espaco/telescopio-hubble-30-anos-de-historia-descobertas-e-revolucao-na-astronomia-163747/>. Acesso em: 12 maio 2023.
- CHERMAN, A.; MENDONÇA, B. R. **Por que as coisas caem?** 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.
- DELBEM, N. F. **Introdução matemática aos modelos cosmológicos**. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática Universitária). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Matemática. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro: Unesp, 2014.
- DI VALENTINO, R.; MELCHIORRI, A.; SILK, J. Cosmic discordance: planck and luminosity distance data exclude LCDM. **Investigating cosmic discordance**, v. 1, p. 1-6, 2021.
- FERNANDES, K. C. **Construção de um radiotelescópio amador em microondas 12 GHz, dotado de um sistema automático de aquisição de dados**. TCC (Licenciatura em Física). Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2007.
- FERREIRA, E. G. M. Aula 2. **A expansão do universo: modelo cosmológico padrão e a história térmica do universo**. 2022. Disponível em: <https://lambdadps.github.io/jayme/2022/pdf/Cosmo2022Aula2.pdf>. Acesso em: 12 maio 2023.
- FERREIRA, T. A. **Testes observacionais complementares na restrição de modelos cosmológicos com interação no setor escuro**. Dissertação (Mestrado em Física). Instituto de Física. Universidade Federal da Bahia. Salvador: UFBA, 2016.
- FIGUEIREDO, A. L. **Notícia**. Hubble enfrenta ameaças da *SpaceX* e satélites de outras empresas. 2023. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/03/02/ciencia-e-espaco/hubble-enfrenta-ameacas-da-spacex-e-satelites-de-outras-empresas/>. Acesso em: 10 set. 2023.

NAHRA, S. **Telescópio espacial James Webb**: veja o que é e suas descobertas. 2023. Disponível: <https://querobolsa.com.br/enem/fisica/telescopio-espacial-james-webb>. Acesso em: 15 maio 2023.

NUNES, K. A seleção natural cosmológica de Lee Smolin. 2019. Disponível em: <https://medium.com/@kaiquenunesx/a-sele%C3%A7%C3%A3o-natural-cosmol%C3%B3gica-de-lee-smolin-9aa14e893eb9>. Acesso em 12 maio 2023.

PAIVA, G. J. Ciência, religião, psicologia: conhecimento e comportamento. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 561-67, 2002.

RAVASI, G. Cosmologia bíblica. In: **Anais**. Il cielo tra física e metafísica in L.'Osservadores Romano. 2009. Disponível em: https://www.wikiwand.com/pt/Cosmologia_b%C3%ADblica. Acesso em 12 maio 2023.

RIBEIRO, M. B.; VIDEIRA, A. A. P. Cosmologia: uma ciência especial? Algumas considerações sobre as relações entre a cosmologia moderna, filosofia e teologia. In: CRUZ, E. R. (Org.). **Teologia e ciências naturais**. São Paulo: Paulinas. Cap. VII, p. 162-97, 2011.

ROSENFELD, R. A cosmologia. **Física na escola**, v. 6, n. 1, p. 31-7, 2005, p. 31.

SAGAN, C. E. **Cosmo**. Tradução de Paulo Geiger. São Paulo: Companhia das Letras, 2014.

SARAIVA, M. F.; OLIVEIRA FILHO, K. S.; MÜLLER, A. M. **Aula 26**: expansão do universo. 2010. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula26-132.pdf>. Acesso em: 12 maio 2023.

SILVA, A.; FERREIRA, E.; SOUSA, F.; PONTE, L. F. **Físico-química**. 2013. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/10170332/>. Acesso em: 28 mar. 2023.

SOARES, D. S. **L.O telescópio espacial Hubble**. 2008. Disponível em: <http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/reino/hst-EM.htm>. Acesso em: 23 maio 2023.

SOARES, R. O que é cosmologia? In: **TV UFMG, 2013**. Disponível em: <http://lilith.fisica.ufmg.br/dsoares/fc.htm>. Acesso em: 12 maio 2023.

SOARES, R. **Textos & notícias**. 2015. Disponível em: <http://lilith.fisica.ufmg.br/dsoares/notices.htm>. Acesso em: 12 maio 2023.

UFMG. Espaço do conhecimento. **Como funcionam os telescópios?** Disponível em: <https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/descubra-como-os-telescopios-funcionam/#:~:text=Assim%20como%20pessoas%20que%20n%C3%A3o,espelhos%20%C3%A9%20chamado%20de%20refletor..> Acesso em 23 maio 2023.

<https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/descubra-como-os-telescopios-funcionam/#:~:text=Assim%20como%20pessoas%20que%20n%C3%A3o,espelhos%20%C3%A9%20chamado%20de%20refletor>.

VIDEIRA, A. A. P.; VIEIRA, C. L. Notas para uma história da cosmologia entre as décadas de 1910 e 1930. In: **Cadernos de astronomia**, Goiabeira, v. 3, n.1, p. 10-6, 2022.

VIEIRA, C. H. (Org.). **Cosmologia**: da origem ao fim de universo. Rio de Janeiro: Observatório Nacional, 2015. Módulo I: História da cosmologia.

VILELA, T.; WUENSCHÉ, C. A. LEONARDI, R. Cosmologia observacional. **V Escola do CBPF**. Centro Brasileiro de Pesquisa Física, Rio de Janeiro, de 5-16 de julho 2004.

VILLELA NETO, T. A radiação cósmica de fundo: o ruído do universo. **Ciência Hoje**, v. 45, n. 266, p. 28-33, 2009.

WAGA, I. Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 157-73, 2005.

WEBB SPACE TELESCOPE. **Home page**. 2023. Disponível em: https://webbtelescope-org.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc. Acesso em: 12 maio 2023.

WIKIPÉDIA. **Cosmologia bíblica**. 2021. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Cosmologia_b%C3%ADblica#cite_note-2. Acesso em: 12 maio 2023.

WUENSCHÉ, C. A. A cosmologia de 21 cm e o radiotelescópio BINGO. In: **Cadernos de astronomia**, Goiabeira, v. 3, n.1, p. 43-56, 2022.

YOUTUBE. **O que está além do universo?** Descoberta chocante. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mjKTg3l79es>. Acesso em: 4 maio 2023.

WIKIPÉDIA: **Tecnologias e instrumentos da cosmologia observacional**. Links de acesso. Acesso em: entre 8 março a 19 maio de 2023.

https://pt.wikipedia.org/wiki/Cosmologia_observacional

https://pt.wikipedia.org/wiki/Universo_oscilante.

http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_telescope

http://en.wikipedia.org/wiki/Refractor_telescope

http://en.wikipedia.org/wiki/Reflecting_telescope

http://en.wikipedia.org/wiki/Catadioptric_system#Catadioptric_telescopes

[http://www.infopedia.pt/\\$radiotelescopio](http://www.infopedia.pt/$radiotelescopio)

https://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_Espacial_Internacional

http://en.wikipedia.org/wiki/Atacama_Large_Millimeter_Array

http://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu_Galilei

http://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau_Cop%C3%A9rnico

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Nasa>

http://pt.wikipedia.org/wiki/Sondas_espaciais

http://pt.wikipedia.org/wiki/Pioneer_10

http://pt.wikipedia.org/wiki/Voyager_1

https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_espacial_Hubble

http://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_Espacial_Internacional

https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_espacial_Spitzer

https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_Espacial_Kepler

http://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_espacial

http://pt.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_artificial

https://pt.wikipedia.org/wiki/Observat%C3%B3rio_Monte_Wilson

https://pt.wikipedia.org/wiki/Observat%C3%B3rio_Palomar

https://pt.wikipedia.org/wiki/Observat%C3%B3rio_do_Pico_dos_Dias

APÊNDICE A – QUADRO SÍNTESE

CONCEPÇÕES TEÓRICAS SOBRE A ORIGEM E EVOLUÇÃO DO UNIVERSO¹⁰¹

Período Histórico	Origem e evolução do Universo
Na antiguidade – antes de Cristo (a.C)	
2.000	Mito cosmogônico babilônico: <i>Enuma Elish</i> descoberto escrito nas sete tábuas babilônicas. Este épico é uma das fontes mais relevantes à compreensão da cosmovisão babilônica, centrada na supremacia de <i>Marduque</i> – deus chefe babilônico, situado acima de outros deuses das culturas babilônicas e mesopotâmicas na criação da humanidade para serviço a vários deuses. Originalmente, há enormes semelhanças com a narração bíblica do Gênesis. <i>Enuma Elish</i> explica a origem do poder real, a sua natureza, a permanência da instituição e a sua legitimidade. A realeza humana e terrena tem a sua origem na realeza divina. A divindade continuará a ser o verdadeiro rei e também o modelo a imitar pelo rei terreno. Dessa forma, a existência de um modelo real divino impõe limites à realeza humana.
1.200	Hino cosmogônico indiano do <i>Rig-Veda</i> – livro do conhecimento da cultura hindu – é atribuído a Prajapâti Parameshthin e expõe dúvidas sobre a possibilidade de conhecimento do princípio absoluto da cosmovisão hindu.
800	Nas obras do pensador grego Homero (que viveu entre os séculos VIII-VII a.C) aparece a concepção grega sobre a Terra achatada, sobre os movimentos do sol e da lua e há citações a várias estrelas pelos seus nomes.
700	Na cosmogonia, a <i>Teogonia</i> (que significa nascimento dos deuses), escrita pelo pensador grego Hesíodo (≈750-650 a.C, época aproximada da elaboração do Livro de Gênesis da Bíblia), compôs um mito com aspectos filosóficos e simbólicos. Para este pensador, o mundo surgiu a partir da criação dos primeiros deuses, seus amores e suas lutas e do estabelecimento de três grandes linhagens divinas: a descendência do Caos, a do Mar e a do Céu. Tales de Mileto (≈624-546 a.C), outro pensador grego, busca entender a origem do Universo e o elemento gerador (arché) de toda a natureza e conclui que a água seria esse elemento gerador.
Século VI	Crítica de Xenófanes (560-476 a.C) para as concepções religiosas gregas sobre os deuses de outros filósofos pré-socráticos, como, por exemplo, Tales de Mileto, Anaximandro (≈610-546 a.C), Anaxímenes (≈588-524 a.C), ampliam-se reflexões sobre o princípio material primordial do universo: água, ar, o infinito ou ‘ <i>ápeiron</i> ’. Na época, Anaximandro propõe uma hipótese cosmogônica que definia ser o “ <i>ápeiron</i> ” indestrutível e representante da massa geradora do Cosmo e dos seres. Era criado pela luta entre os elementos contrários, como o frio, o calor, o úmido, o seco, etc. A hipótese cosmogônica de Anaximandro surge proximamente à época que ocorre o desenvolvimento da concepção indiana sobre os ciclos cósmicos – os dias e as noites de Brahman (Código de Manu faz parte de uma coleção de Livros Bramânicos. É um dos textos jurídicos mais antigos de que se tem notícia).
Século V	Empédocles (≈490-430 a.C), outro pensador grego, propõe sua hipótese cosmogônica a partir de quatro elementos (terra, fogo, ar e água) e expôs a visão de um universo cíclico. Nesse século também surge o atomismo grego com o mestre Leucipo de Abdera (≈490-420 a.C) e seu discípulo Demócrito de Abdera (morre no século 370 a.C aos 90 anos de idade) a partir da proposição de uma hipótese materialista do universo para explicar o surgimento e a destruição dos mundos pelo acaso.
Século IV	Os pensadores gregos Platão (≈427-347 a.C) propõe sua hipótese filosófica sobre a origem do universo e da matéria e Aristóteles (≈38-322 a.C) que mostra ser a Terra era redonda, defende a posição da Terra parada no centro do Universo, cercada por esferas concêntricas que carregam os astros. Ainda, nesse século, o pensador grego Epicuro (≈341-270 a.C) desenvolve sua hipóteses atomística.
Século III	Outro pensador grego Aristarco de Samos (≈310-230 a.C) defende a ideia de que a Terra gira em torno do Sol, mas sua hipótese não é aceita. Euclides de Alexandria (≈323-283 a.C) sistematiza toda a geometria antiga no livro <i>Os elementos</i> , que foi aceito até o século XIX. Parece que sua obra pretendia reunir três grandes descobertas de outros pensadores gregos de sua época: a hipótese das proporções de Eudoxo (408-

¹⁰¹ Fonte: Martins (1994; 2012), Rosenfeld (2005), Waga (2005), Sagan (2014) e Santana (2016).

	355 a.C.), a hipótese dos irracionais de Teeteto – diálogo platônico sobre a natureza do conhecimento – e a hipótese dos cinco sólidos regulares, que ocupava um lugar importante na cosmologia de Platão.
Século I	O pensador romano Lucrécio (99-55 a.C.) escreveu o livro <i>De rerum natura</i> , que apresenta a hipótese atomística de Epicuro. Em sua cosmologia, Heráclito (540-470 a.C.) defendeu que o fogo seria o elemento primordial de todas as coisas. Tudo se origina por rarefação e tudo flui como um rio. O Cosmos é um só e nasce do fogo e de novo é consumido pelo fogo, em períodos determinados, em ciclos constantes que se repetem por toda a eternidade.

Na modernidade – depois de Cristo (d.C)

Século I	O judeu grego Filon de Alexandria (25 a.C-50 d.C) expôs uma nova interpretação filosófica do <i>Gênesis</i> Bíblico a partir dos fundamentos cosmológicos da época, observar a existência de uma sensível aproximação entre a cosmologia platônica registrada no diálogo Timeu e a narrativa da criação do mundo presente no Livro do Gênesis Bíblico.
Século II	O astrônomo grego Claudio Ptolomeu (90-168 d.C.) desenvolve a hipótese geocêntrica, na qual o Sol, os planetas e as estrelas giram em torno da Terra e faz o primeiro registro de observação de uma nuvem interestrelar (nebulosa).
Século V	O norte africano Santo Agostinho (354-430 d.C.) discute a interpretação filosófica do <i>Gênesis</i> a partir da tradição neoplatônica e, concordante com a cosmologia de Platão, atribui o princípio do mundo material a um Ser total e pleno.
Século XIII	O italiano Santo Tomás de Aquino (1225-1274) desenvolve a base da filosofia escolástica, unindo os ensinamentos bíblicos com o pensamento de Aristóteles. Sua cosmologia filosófica cristã concebe o cosmo (mundo ou universo) como criatura, oriunda da ação de um Ser Supremo Criador.
Século XVI	O pensador francês Charles de Bovelles (1479-1544), o suíço Paracelso (1383-1541) e outros difundem a ideia de que o homem é uma miniatura do universo (homem como um microcosmo). O polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) propõe a hipótese heliocêntrica, na qual todos os planetas giram em torno do Sol. O italiano Giordano Bruno (1548-1600) adota a hipótese de Copérnico para defender a ideia de um universo infinito. O dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), na esperança de superar a hipótese copernicana, definitivamente tira a ideia da Terra como centro do Universo ao defender que todos os planetas, menos a Terra, giram em torno do Sol – e o Sol e a Lua giram em torno da Terra.
Século XVII	O pensador italiano Galileu di Vincenzo Bonaulti de Galilei, mais conhecido como Galileu Galilei (1564-1642) defende a hipótese de Copérnico por meio de observações astronômicas e apresenta a proposta de nova Física. O astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) deduz que se o Universo fosse infinito e invariável, então, ele não poderia ser escuro à noite. O francês René Descartes (1596-1650) propõe a primeira hipótese moderna sobre a origem do universo e do Sistema Solar, supondo a existência de grandes turbilhões de gás no espaço. O inglês Isaac Newton (1643-1727) cria a hipótese da gravitação universal, explica o movimento dos planetas e critica as ideias do francês René Descartes, mas não apresenta uma hipótese cosmogônica.
Século XVIII	O francês Conde de Buffon (1707-1788) tenta explicar o surgimento do Sistema Solar pela colisão de um cometa com o Sol. O pensador alemão Immanuel Kant (1724-1804) apresenta uma nova visão do universo, defende a existência de grandes grupos de estrelas (galáxias) e propõe uma hipótese sobre a formação do Universo e do Sistema Solar, baseando-se na física newtoniana. Sob o ponto de vista filosófico, Kant critica as concepções sobre espaço e tempo para negar que eles sejam finitos ou infinitos. Pierre Simon de Laplace (1749-1827) propõe que a formação do Sistema Solar ocorre pela contração de uma nuvem gasosa em rotação. Os astrônomos Charles Joseph Messier (1730-1817) e William Herschel (1738-1822), respectivamente, notam a existência de concentrações de ‘nebulosas’ na constelação de Coma Berenice (atual aglomerado de Coma com milhares de galáxias) e de Virgem (aglomerado mais próximo da Via Láctea, que contém três galáxias gigantes; M87, M86, M84).
Século XIX	O alemão Wilhelm <i>Heinrich Wilhelm</i> Matthäus Olbers (1758-1840) discute a questão levantada por Johannes Kepler sobre a dificuldade de ser compreendido o porquê de o céu ser escuro à noite, supondo sê-lo infinito. Os matemáticos János Bolyai (1808-1860), Nicholas Lobatchevsky (1792-1856), Bernhard Riemann (1826-1866), dentre outros, desenvolvem as geometrias não-euclidianas que levam a mundos estranhos e flexíveis; Lobatchevsky propõe experimentos astronômicos para descobrir que o universo tem um espaço curvo. Julius Robert Mayer (1814-1878), Hermann Helmholtz (1821-1894) e William Thomson (Lorde Kelvin. 1824-1907) estudam os processos de formação de energia solar. Lorde Kelvin e Rudolf Clausius (1822-1888) concluem que

	o universo deveria acabar por esfriar e "morrer". Alguns filósofos e cientistas, como, por exemplo, Friedrich Nietzsche (1844-1900) e Willian Rankine (1820-1872) recusam essa conclusão e propõem um universo cíclico seguindo a ideia de Empédocles (século V a.C).
Século XX	<p>James Jeans (1877-1946) estabelece as condições físicas para que uma nuvem gasosa possa se contrair e formar uma estrela ou outro corpo celeste. Hendrik Lorentz (1853-1928), Henri Poincaré (1854-1912), Albert Einstein (1879-1955) e outros cientistas, desenvolvem a Teoria da Relatividade Geral (TGR). Vesto Melvin Slipher (1875-1960) observa, na galáxia de Andrômeda, o deslocamento de suas linhas espectrais e Milton La Salle Humason (1891-1972) observa espectrogramas difíceis de galáxias tênues. Também Albert Einstein, Willem de Sitter (1872-1934) e Alexander Alexandrovich Friedmann (1888-1935) desenvolvem as primeiras hipóteses matemáticas sobre o universo a partir da TGR.</p> <p>Edwin Hubble (1889-1953) e outros astrônomos mediram a distância e velocidade das galáxias, mostrando que quase todas se afastam da Terra, com velocidade proporcional a distância.</p> <p>Georges Henri Joseph Édouard Lemaître (1894-1966) e Arthur Stanley Eddington (1882-1944) utilizam os dados astronômicos e propõem as primeiras hipóteses relativísticas de um universo em expansão; Depois Lemaître altera sua proposta para defender que o universo começou como um superátomo que explodiu.</p> <p>Paul Dirac (1902-1984) propõe a hipótese da variação das "constantes" universais. Outros físicos, assim como Hans Bethe (1906 -2005), estudam a fusão nuclear, que acaba por se tornar a explicação aceita para a produção de energia das estrelas.</p> <p>George A. Gamow (1904-1968) propõe a hipótese do <i>Big Bang</i> para explicar a produção dos elementos químicos. Hermann Bondi (1919-2005), Thomas Gold (1920-2004) e Fred Hoyle (1915-2001) propõem a hipótese relativística de um universo estacionário, que se expande, porém está sempre igual. Os físicos norte-americanos Arno Allan Penzias (1933-) e Robert Woodron Wilson (1936-) descobrem a existência da radiação cósmica de microondas – radiação cósmica de fundo (RCF), que fortalece a hipótese do <i>Big Bang</i>. O cosmologista estadunidense Alan Harvey Guth (1947-) defende a hipótese do 'universo inflacionário' para explicar como o universo se tornou homogêneo na primeira fase de sua expansão exponencialmente a partir dos primeiros instantes no pós-<i>Big Bang</i>. O astrônomo descobriu grandes aglomerados de matéria no universo, que contrariam a visão de uma distribuição homogênea de matéria pelo espaço do universo. O astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898-1974) percebe a existência da matéria escura no universo, sendo pioneiro no estudo de supernovas em galáxias distantes– explosão de estrelas em fase terminal. O holandês Maarten Schmidt (1929-2022) identifica o primeiro quasar e determina a distância dos quasares.¹⁰² O matemático britânico Roger Penrose (1931-2022) mostra que a formação de buracos negros é uma consequência direta da TGR.</p>

¹⁰² Quasares – acrônimo do quase *StrellAr Source* ou fontes quase estelares – são galáxias com buracos negros que emitem ondas de rádio a partir do centro. São objetos extremamente compactos e luminosos, parecido com uma estrela vista com luz visível (Santos, 2016, p. 42).