



ENZO DANTAS DA SILVA

**DA COSMOLOGIA CLÁSSICA À ENERGIA ESCURA E
MATÉRIA ESCURA:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DE ENSINO E
APRENDIZAGEM**

LAVRAS-MG

2023

ENZO DANTAS DA SILVA

**DA COSMOLOGIA CLÁSSICA À ENERGIA ESCURA E MATÉRIA ESCURA:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das exigências do
Curso de Licenciatura em Física da
Universidade Federal de Lavras, para a
obtenção do título de licenciado em Física.

Prof. Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel

Orientador

**LAVRAS-MG
2023**

ENZO DANTAS DA SILVA

**DA COSMOLOGIA CLÁSSICA À ENERGIA ESCURA E MATÉRIA ESCURA:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

**FROM CLASSICAL COSMOLOGY TO DARK ENERGY AND DARK MATTER:
A PROPOSAL FOR TEACHING AND LEARNING SEQUENCE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das exigências do
Curso de Licenciatura em Física da
Universidade Federal de Lavras, para a
obtenção do título de licenciado em Física.

APROVADA em 20 de Dezembro de 2023.

Dr. Jefferson Adriano Neves DFM/ICET - UFLA
Dr. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva DFM/ICET - UFLA

Prof. Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel
Orientador

**LAVRAS - MG
2023**

Dedico este trabalho a Deus, minha família, meus amigos e ao meu orientador. Sem vocês eu não teria conseguido.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que me capacitou e me guiou até o lugar onde eu estou.

Agradeço aos meus pais, Leny e Enos, e a minha irmã, Allana, que acreditaram, confiaram e me apoiaram de todas as formas possíveis durante toda a minha trajetória.

Ao meu orientador Antônio Marcelo, que me ensinou muitíssimo durante a minha graduação e foi paciente até demais.

Aos professores que me inspiram a querer ser um grande físico, um grande educador e uma grande pessoa: Antonio dos Anjos, Iraziet, Jefferson, Fábio, Helena, Ana Cláudia, Alexandre, Ulisses, Luiz Cleber, Sérgio, Solange, Gilson.

À Isadora que, mesmo distante, foi um porto seguro para mim nos momentos de estresse, ansiedade e também nos momentos de felicidade.

Ao meu amigo Daniel que entrou e caminhou comigo em todo o curso, do começo ao fim, estando nos momentos bons e ruins.

Aos meus amigos Israel, Gabriel, Lucas, Kleyan, Rafael, Thales, Murillo, Pedro Zanon, Pedrão, Victor, João Carlos, Leozão, e Raphael, que moraram comigo durante boa parte da graduação e proporcionaram lembranças que carregarei comigo para sempre.

Aos meus amigos da república Desvio, Caio e Daniel, que me acolheram durante a minha mudança e foram incríveis nessa reta final.

Aos meus amigos de Passos, Davi, Arthur, Jorjão, Vito, Virto, Igor Freire, Cauê, amigos com os quais eu sempre pude contar.

Aos membros da igreja Lagoinha e ao pastor Wilker, que me acolheram e foram uma família para mim em Lavras.

Aos alunos da licenciatura e aos da engenharia física, por todos os bons momentos que vivemos.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras que me possibilitou viver experiências intensas ao longo desses 5 anos.

E meu muito obrigado a todos os demais que de certo modo contribuíram com este trabalho e com minha jornada!

*Ouçã conselhos e aceite instruções,
e acabará sendo sábio.
(Provérbios 19:20)*

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo a elaboração de uma unidade didática que possibilite aos alunos uma construção ativa do conhecimento por meio da argumentação, no favorecimento da alfabetização científica dos estudantes. Na estruturação das aulas da unidade didática, iniciamos com a investigação das concepções prévias dos alunos sobre cosmologia, posteriormente explorando os modelos geocêntricos e heliocêntricos, bem como as contribuições de Galileu e Kepler para o desenvolvimento da cosmologia, relacionando a proposição de modelos com evidências e concepções científicas. Buscando explicar o comportamento dos astros, abordamos os conceitos de gravidade de Newton e Einstein. Posteriormente, as teorias sobre a origem do universo, concentrando-nos no Big Bang e no Estado Estacionário são apresentadas e confrontadas. Por fim, discutimos duas importantes hipóteses contemporâneas: a matéria escura e a energia escura, associando-as com a análise da curva de rotação das galáxias, sendo explorada como uma ferramenta para compreender a matéria escura, enquanto a expansão acelerada do universo sendo contextualizada pela presença de energia escura. Apesar de apresentarmos uma organização temporal ordenada, não queremos contribuir para uma visão equivocada da ciência como sendo algo desenvolvido linearmente. Queremos que os alunos possam enxergar a ciência como uma construção coletiva, que está sujeita a variadas influências, e os modelos como tentativas das pessoas para explicar fenômenos. Para a elaboração da Sequência de Ensino e Aprendizagem, fizemos uso de orientações deliberadas no Núcleo de Estudo e Extensão em Práticas Científicas e Epistêmicas, a elaboração de argumento padrão, como meta de chegada no desenvolvimento da proposta, e os princípios determinados pela definição de dimensões epistemológicas e dimensões pedagógicas, e os objetivos de aprendizagem. O resultado consiste numa proposta com cinco sequências de ensino e aprendizagem que tem como atividade final a construção de argumentos que sustentam a hipótese de existência da matéria escura e da energia escura.

Palavras-chave: Ensino de Física. Educação em Astronomia. Argumentação. Alfabetização Científica. Cosmologia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.0 - Esquema do Padrão de Argumento de Toulmin.....	20
Figura 3.0 - Losango Didático.....	24
Figura 3.1 - Proposta inicial do Argumento Padrão - Matéria Escura.....	25
Figura 3.2 - Proposta inicial do Argumento Padrão - Energia Escura.....	26
Figura 3.3 - Argumento Padrão - Matéria Escura.....	27
Figura 3.4 - Argumento Padrão - Energia Escura.....	27
Figura 4.0 - Rotação kepleriana.....	57
Figura 4.1 - Curva de rotação para o sistema solar.....	58
Figura 4.2 - Via Láctea - Galáxia Espiral.....	59
Figura 4.3 - NGC 3610 - Galáxia Elíptica.....	59
Figura 4.4 - NGC 7292 - Galáxia Irregular.....	60
Figura 4.5 - Galáxia NGC 6503.....	61
Figura 4.6 - Curva de rotação NGC 6503.....	61
Figura 4.7 - Comparação com o modelo de Kuzmin e o limite kepleriano.....	62
Figura 4.8 - Halo de matéria escura.....	63
Figura 4.9 - A expansão do Universo.....	66
Figura 4.10 - Mapeamento de Matéria Escura feito pelo telescópio Hubble.....	67
Figura 4.11: Componentes do universo, características, candidatas e exemplos.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.0 - Práticas científicas do ensino por investigação.....	17
Quadro 2.1 - Práticas epistêmicas do ensino por investigação.....	18
Quadro 3.0 - Roteiro da UD.....	23
Quadro 3.1 - Objetivos de Aprendizagem das SEA's.....	23
Quadro 3.2 - Princípios da SEA.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.0: Dados orbitais dos planetas do sistema solar.....	57
---	----

LISTA DE SIGLAS

AC	Alfabetização Científica
SD	Sequência Didática
UD	Unidade Didática
RCF	Radiação Cósmica de Fundo
TAP	Padrão de Argumento de Toulmin
SEA	Sequência de Ensino e Aprendizagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. A Astronomia e a Cosmologia no Ensino.....	14
2.2. Práticas Científicas e a Alfabetização Científica.....	16
3. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	22
4. PROPOSTA DA SEA.....	29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

Com a popularização das mídias digitais, uma temática que se destaca entre as produções cinematográficas, e que despertam a curiosidade das pessoas, envolve o Universo e os mistérios em relação à sua composição, sua origem e seu futuro. Teorias sobre universos alternativos, buracos negros e outros assuntos vem sendo exploradas nessas produções e tem atraído a atenção de quem consome estes produtos. Um exemplo é o sucesso de bilheteria do filme “Interestelar”. Também a divulgação de notícias do meio científico, como da primeira foto tirada de um buraco negro, instigam as pessoas a buscarem mais conhecimentos na área.

Em nossas experiências, considerando a trajetória do discente na educação básica e o seu retorno à escola através de estágios e programas de iniciação à docência, verificamos que tais conhecimentos possuem pouca presença na escola. Podemos especular que isso ocorre devido à falta de uma área específica para o estudo da Astronomia, ou muitas vezes pela complexidade do tema, ou ainda pela falta de acesso à materiais didáticos que abordem o tema. Então, nos preocupamos que os estudantes recorram à internet, podendo encontrar informações de qualidade duvidosa. Assim, sendo a Astronomia pertencente à área das ciências da natureza, e reconhecendo fortes articulações com a área de Física, consideramos a possibilidade de abordar essa temática nas aulas de Física.

A temática deste trabalho não só é popular, mas também reflete o interesse do autor, um estudante que, ao longo dos seus quatro anos de graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal de Lavras, demonstrou interesse pela área de Cosmologia. Assim, uma das possibilidades para aprofundar seus estudos e produzir trabalhos sobre esse tema foi explorar a área em seu Trabalho de Conclusão de Curso.

Em nossa perspectiva o ensino de Física deve ter como objetivo a Alfabetização Científica (AC), que entre as suas possíveis dimensões, considera que o aluno adquira a capacidade de analisar situações-problemas e propor soluções, sustentando-as com base em evidências e assim, desenvolvendo sua capacidade argumentativa e entendendo como se faz ciência.

Portanto, neste trabalho nos propomos a fazer um estudo de cunho formativo em Cosmologia, uma área que busca estudar a origem e a evolução do universo e suas propriedades, com o objetivo de elaborar uma Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) que parta das concepções prévias dos estudantes, passando por uma análise de modelos cosmológicos clássicos e contemporâneos, a fim de chegar às hipóteses da matéria escura e energia escura. As orientações consideradas na elaboração da proposta consistem no desenvolvimento de práticas científicas e no favorecimento da alfabetização científica aos

alunos através de atividades que contribuam para a construção ativa do conhecimento, nas quais os estudantes possam investigar situações-problemas, desenvolver hipóteses e possam apresentar seus pontos de vista junto à sala de aula.

Como estrutura deste trabalho, temos este primeiro capítulo introdutório, no qual apresentamos as intencionalidades e objetivos gerais do trabalho, além de apresentar um pouco da trajetória do discente durante a graduação. No segundo capítulo, trazemos a fundamentação teórica do nosso trabalho. No terceiro capítulo, evidenciamos os processos metodológicos para a elaboração do trabalho e do produto educacional resultante deste trabalho. No quarto capítulo, apresentamos a forma final do nosso produto, que é a proposta da SEA. Por fim, o quinto e último capítulo, trazendo considerações acerca do produto final e reflexões sobre o que foi elaborado e suas potencialidades.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresentaremos os principais estudos que alicerçam o nosso trabalho, os quais envolvem a Alfabetização Científica, a Investigação no Ensino de Ciências, as Práticas Científicas e Epistêmicas e também o Ensino de Astronomia e Cosmologia.

2.1. A Astronomia e a Cosmologia no Ensino

Esta seção visa investigar e apresentar algumas contribuições das áreas de astronomia e cosmologia no contexto educacional, explorando suas justificativas e relevância para a formação dos alunos. Para tanto, trazemos os resultados das pesquisas, do tipo revisão bibliográfica, realizadas por Soler e Leite (2012) e por Barbosa e Leite (2019).

No trabalho de Soler e Leite (2012), é apresentada uma revisão bibliográfica, contendo um levantamento de artigos em periódicos da área de Ensino de Ciências, de Física e de Astronomia no país. Os trabalhos analisados deveriam conter uma pesquisa relacionada ao Ensino de Astronomia, e além disso deveriam ter alguma menção acerca de justificativas ou importância do Ensino de Astronomia.

Os autores selecionaram 180 trabalhos contemplando o Ensino de Astronomia. Destes, 29 faziam menções sobre a importância ou justificativa para o Ensino de Astronomia. Nessa análise, os autores conseguiram sintetizar a justificativa do ensino de Astronomia em quatro principais argumentos: O despertar de sentimentos e inquietações, como curiosidade, interesse, e fascinação, que são alguns dos elementos que possibilitam o engajamento e a predisposição do aluno no processo de ensino-aprendizagem; a relevância sócio-histórico-cultural, já que a Astronomia tem grandes contribuições para a evolução de civilizações, como registro e organização de tempo, orientação para locomoção e aprimoramento de técnicas de plantio e caça; ampliação de visão de mundo e conscientização, proporcionando questionamentos e reflexões acerca de temas como preservação do meio-ambiente, cidadania e outros, e por fim, a interdisciplinaridade, podendo se relacionar com outras áreas do conhecimento. (SOLER e LEITE, 2012)

No trabalho de Barbosa e Leite (2019), buscando construir justificativas para o ensino de Cosmologia na Educação Básica, é feita uma revisão bibliográfica das pesquisas na área, além de analisar como a Cosmologia aparece nos documentos oficiais que orientam os currículos nacionais. Como produto final, o trabalho categoriza as possíveis contribuições do ensino de cosmologia na educação básica.

A primeira contribuição listada é a *localização na escala cósmica*, destacando a importância da abstração e da percepção espacial no estudo do céu e do cosmos. As autoras

mostram como a falta de interação tátil no céu cria uma visão bidimensional, exigindo meios alternativos para compreensão. Elas ressaltam a evolução da percepção espacial na infância, crucial na astronomia e cosmologia, especialmente ao considerar estruturas cósmicas complexas, onde a compreensão tridimensional se torna fundamental para compreender distâncias, tamanhos e campos gravitacionais.

A segunda contribuição listada é *aspectos da natureza da ciência*, onde as autoras ressaltam a importância de explorar a Natureza da Ciência, revelando-a como um processo humano baseado em métodos científicos, contextos sociais e mudanças de paradigma. A história da ciência ganha destaque como uma ferramenta para desconstruir estereótipos, embora reconheça que essa abordagem nem sempre quebre paradigmas, podendo simplificar narrativas complexas. Aponta para a Cosmologia como um campo repleto de incertezas que demonstram a capacidade da atividade científica de gerar resultados significativos mesmo diante da falta de certezas. Ainda, sugere que a História da Ciência permite entender visões de mundo contrastantes, fundamentais para discutir a Ciência como uma construção humana em constante mudança, influenciada por diversos contextos.

A terceira contribuição é a *perspectiva tecnológica da ciência*, onde as autoras enfatizam o papel da tecnologia no avanço do estudo cósmico. Destacam também o desenvolvimento de instrumentos tecnológicos para observação desde Galileu, evidenciando como eles expandiram nosso entendimento do universo observável, revelando não apenas a extensão da Via Láctea, mas também a existência de inúmeras galáxias além dela. Abordam também a superação de limites filosóficos e observacionais, enfatizando o caráter provisório do conhecimento científico.

A quarta e última contribuição é *Cosmologia, Física Moderna e interdisciplinaridade*, onde as autoras destacam o desafio de incluir a Física Moderna no ensino básico, apesar de sua relevância presente em tecnologias cotidianas. Aponta a falta de abordagem desses conhecimentos na educação formal, deixando de trazer para os alunos problemas contemporâneos da ciência. Destacam a importância de capacitar os estudantes para pensarem criticamente sobre tais assuntos, empoderando-os diante da realidade ao seu redor. Além disso, a associação entre Cosmologia e Física Moderna é mencionada como uma maneira de abordar esses temas de forma menos sensacionalista, fornecendo ferramentas para analisar informações veiculadas pela mídia de maneira mais criteriosa. Citam também a possibilidade de interdisciplinaridade exemplificando com química e filosofia, permitindo a exploração da formação do universo e questões existenciais em diferentes áreas do conhecimento.

Em nosso trabalho, verificamos a potencialidade de contemplarmos as quatro contribuições elencadas. Porém, a presença da Física Moderna e aspectos da Natureza da Ciência, por meio da História da Ciência são predominantes.

2.2. Práticas Científicas e a Alfabetização Científica

Ao pensar no porquê de querermos alcançar a Alfabetização Científica (AC), devemos refletir sobre quais os motivos e objetivos pelos quais ensinamos ciências.

A Alfabetização Científica (AC) é apresentada como um objetivo essencial no ensino de ciências, fundamentado na aproximação dos estudantes com a cultura científica para promover uma nova forma de compreender o mundo. A AC não busca apenas a assimilação de fatos científicos, mas também o desenvolvimento de um pensamento crítico que incentiva investigações constantes e uma atitude interveniente na sociedade. (SASSERON, 2018)

A AC procura oferecer uma visão ampla dos conhecimentos científicos e sua ligação com a sociedade, alinhando-se com princípios de uma educação emancipadora e transformadora, onde o foco recai sobre o papel do indivíduo como sujeito epistêmico na construção e avaliação de conhecimentos. (SASSERON, 2018)

A AC não se limita ao ambiente escolar, sendo um processo constante de análise, proposição, avaliação e tomada de decisões em diversas situações da vida cotidiana. Destaca-se que ela vai além da aprendizagem de conceitos científicos, abrangendo também os modos específicos de construir e divulgar conhecimento científico.

Embora possa ser confundida com a formação de cientistas, a AC não busca esse propósito, mas sim promover uma compreensão ampla da área de conhecimento e reconhecer os modos de fazer ciência como parte integral desse processo educativo.

Dessa maneira, a AC proporciona ao aluno uma visão mais crítica do mundo, onde ele se encontra constantemente analisando situações, propondo ideias e tomando decisões. E assim como Sasseron (2018) reitera, proporciona uma interação do sujeito com as características epistemológicas da ciência, tendo uma conexão com os modos de se construir e divulgar o conhecimento.

Por isso, a Alfabetização Científica se encaixa em nossa concepção do porquê ensinar ciências, afinal, o sujeito consegue compreender o mundo em que vive, apropriando-se de conhecimentos e utilizando-os no desenvolvimento do pensamento científico.

O ensino de ciências por investigação prevê a participação ativa do estudante nos processos de análise de problemas, consolidando ações práticas juntamente com o domínio conceitual do problema a ser investigado.

Em nossa concepção acerca do ensino de física, é necessário não só o trabalho de modelos explicativos, conceitos e leis, como também o trabalho epistemológico, de como se dá a produção e a divulgação de aspectos do conhecimento científico. Neste contexto de processos investigativos, surge o termo “práticas” (NRC, 2012, OSBORNE, 2010, apud SASSERON, 2018), que destaca as diferentes ações necessárias para alcançar a alfabetização científica na resolução de um problema, agrupando dimensões conceituais, sociais, epistêmicas e materiais. (SASSERON, 2018).

Windschitl, Thompson e Braaten (2008) afirmam que o ensino de ciências na perspectiva da investigação deva ocorrer pelo trabalho coordenado em sala de aula com o desenvolvimento de interações discursivas baseado em cinco características epistêmicas do conhecimento científico: que ele seja testável, revisável, exploratório, conjectural e gerador. (SASSERON, 2018, p.29)

No trabalho de Jiménez-Aleixandre e Crujeiras (2017) é mostrada a relação entre “práticas científicas” e “práticas epistêmicas”. As práticas epistêmicas fazem referência aos processos e critérios de avaliação do pensamento e ao acompanhamento da aprendizagem. Já as práticas científicas, no âmbito do ensino de ciências, referem-se a investigação, avaliação e a construção de explicações. (SASSERON, 2018).

Podemos ver nos Quadros 2.0 e 2.1, que tem origem em atividades de caráter de investigação experimental, propostas de como as práticas científicas e epistêmicas podem aparecer no ensino por investigação (SASSERON, 2018). Neles verificamos práticas científicas presentes na nossa proposta, que possuem estreita relação com os processos argumentativos, como a *construção de explicações*, a *elaboração de justificativas*, *limites e previsões* e as quatro práticas epistêmicas.

Quadro 2.0 - Práticas científicas do ensino por investigação.

Prática científica	Descrição
Trabalho com novas informações	Coletar informações em diferentes fontes e por diferentes modos como, por exemplo, medição e observação Organizar informações em quadros, tabelas, gráficos Comparar informações Constatar, dentre as informações, variáveis relevantes ao problema
Levantamento de hipóteses e proposição de planos de ação para testes	Levantar hipóteses para resolução de um problema Construir planos de ação para testar hipóteses Construir teste de controle de variáveis Manejar equipamentos para observação de hipóteses
Construção de explicações, a elaboração de justificativas, limites e previsões	Relacionar ações realizadas e reações obtidas Construir explicações científicas baseadas em informações obtidas Considerar limites de validade para as explicações Prever resultados em situações assemelhadas

Fonte: Adaptação do Quadro 1 de Sasseron (2018).

Quadro 2.1 - Práticas epistêmicas do ensino por investigação.

Prática epistêmica	Descrição
Proposição	Colocar dúvidas científicas/sobre ciências Construir modos de investigação para responder estas dúvidas Realizar observações Prever evidências que podem ser obtidas pela investigação Construir e refinar modelos
Comunicação	Desenvolver uma linha de raciocínio científico Escrever explicação científica (relatório, por exemplo) Comunicar verbalmente uma explicação científica Construir explicação científica baseada em evidência e raciocínio
Avaliação	Avaliar méritos de uma afirmação, evidência ou modelo científico Avaliar a linha de raciocínio científico Avaliar uma explicação científica Considerar explicações alternativas
Legitimação	Construir consenso sobre o que seriam explicações científicas Ter um acordo sobre explicações que se aproximam das teorias preexistentes e cientificamente aceitas Reconhecer conhecimentos da comunidade epistêmica

Fonte: Adaptação do Quadro 2 de Sasseron (2018).

O reconhecimento das práticas associadas ao ensino por investigação, proporcionam a orientação necessária ao planejamento de atividades para a SEA que permitam a interlocução dessas práticas científicas e epistêmicas, de modo a fomentar seu desenvolvimento, pelo aluno, por meio da argumentação.

Mas o que é argumentação? O que é argumentar? A seguir, traremos um pouco das definições presentes em nossos principais referenciais teóricos.

Jiménez-Aleixandre (2010) afirma que as observações, dados e evidências, não falam por si, e que o conhecimento científico não é construído no vácuo, mas em um determinado contexto social e em relação às ideias dominantes nele. A autora alega que argumentar consiste em avaliar afirmações baseadas em evidências, ou seja, reconhecer que as conclusões e afirmações científicas devem ser justificadas, apoiadas em evidências. É uma ferramenta que dispomos para avaliar o conhecimento.

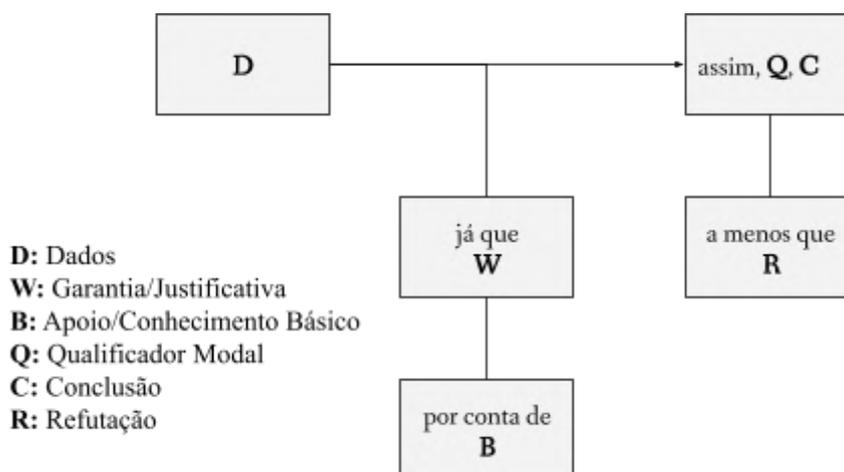
Para Sasseron (2018), o papel da argumentação no contexto do ensino de ciências é de extrema relevância, pois está diretamente ligado à construção do conhecimento científico pelos estudantes.

Segundo Sasseron (2018, p.50), diversas abordagens têm sido exploradas no campo educacional, desde estratégias explícitas, como instruções sobre regras e critérios de argumentação, até interações discursivas implícitas entre os alunos. Além disso, a escrita argumentativa tem sido reconhecida como um componente crucial do processo educativo, não se limitando apenas a debates orais.

As pesquisas nessa área, citadas acima, também consideram tanto o produto quanto o processo argumentativo. O modelo proposto por Toulmin é frequentemente utilizado como uma estrutura objetiva para avaliar os argumentos construídos em discussões científicas, fornecendo um alicerce para análises críticas. Nos aprofundaremos mais neste modelo, que é parte essencial para o desenvolvimento das práticas de construção de argumentos escritos, objetivo de aprendizagem de nosso trabalho.

Este modelo apresenta uma organização estrutural de forma a caracterizar os componentes que constituem um argumento, como podemos verificar na Figura 2.0 (Toulmin, 2006).

Figura 2.0 - Esquema do Padrão de Argumento de Toulmin



Fonte: Adaptado de Toulmin (2006).

A construção de um argumento deve ter origem no processo argumentativo. Quando realizamos uma afirmação (conclusão), assumimos implicitamente a responsabilidade por sua alegação e, caso confrontada, precisamos justificá-la. Geralmente, apoiamos-nos em fatos para sustentar nossa alegação. No entanto, é essencial perceber que quem confronta pode questionar não apenas os dados apresentados, mas também a relação entre esses dados e a conclusão proposta.

Diferenciando a alegação que buscamos estabelecer a **conclusão (C)** dos fatos que apoiam essa alegação - que chamaremos de **dados (D)** - surge um questionamento crucial: como esses dados estão conectados à conclusão proposta? Se apenas apresentarmos os dados, a questão pode se voltar para o caminho percorrido até essa conclusão. Esse é o momento em que entram as garantias.

As **garantias (W)**, nesse contexto, são proposições que autorizam a transição dos dados para a alegação. Não se trata de dados adicionais, mas sim de regras, princípios ou inferências que justificam o salto lógico de dados para conclusões específicas. São gerais e certificam a validade de argumentos desse tipo.

Fazendo um paralelo, ao tentarmos convencer alguém de que é importante usar cinto de segurança ao dirigir, os dados que apresentamos são estatísticas que mostram a redução significativa de acidentes e lesões graves quando o cinto de segurança é utilizado.

Já as garantias seriam os princípios subjacentes a esses dados. Nesse caso, as garantias poderiam ser princípios de segurança, como "o cinto de segurança aumenta a proteção em caso de acidente" ou "medidas preventivas, como usar o cinto, reduzem o risco de ferimentos graves em acidentes".

Os dados são os números e fatos concretos que respaldam sua afirmação (conclusão), enquanto as garantias são os princípios ou regras mais amplas que justificam por que esses dados são relevantes e confiáveis para chegar à conclusão de que usar o cinto de segurança é fundamental para a segurança ao dirigir.

Essa distinção é como apresentar não apenas estatísticas sobre acidentes, mas também explicar por que essas estatísticas são indicativas de uma regra geral de segurança rodoviária, fornecendo um fundamento mais amplo e abstrato para sua afirmação específica sobre o uso do cinto de segurança.

Há outros elementos que compõem o argumento. O **apoio (B)**, por exemplo, refere-se aos fatos concretos que usamos para sustentar nossa afirmação. Se estamos argumentando sobre a importância do uso do cinto de segurança ao dirigir, o apoio poderia ser o uso do conceito de inércia e a necessidade de uma força capaz de impedir que a pessoa mantenha seu movimento após uma colisão ou uma freada brusca.

O **qualificador modal (Q)**, por sua vez, não se limita apenas aos dados. Ele entra em cena para contextualizar a força da relação entre os dados e a conclusão que apresentamos. No caso do cinto de segurança, seria como dizer que "o cinto de segurança provavelmente reduzirá as lesões em acidentes". Este qualificador reconhece a confiança nos dados, mas também reconhece a existência de variáveis que podem influenciar a conclusão.

A conclusão é o ponto final do argumento, baseado nos dados e no qualificador modal. É a afirmação final que se pretende estabelecer, como "o uso do cinto de segurança é fundamental para a segurança ao dirigir". Esta é a declaração que se espera que seja aceita com base nos dados e no contexto apresentado.

Por fim, a **refutação (R)** considera argumentos contrários ou situações que podem contradizer a conclusão proposta. Se alguém contestar a afirmação sobre o cinto de segurança, poderia apontar fatores como "um estudo recente contradiz essas estatísticas antigas", contestando assim a relação entre os dados e a conclusão.

3. METODOLOGIA DE TRABALHO

Neste capítulo, apresentamos os procedimentos metodológicos utilizados na construção do trabalho, que abrangem os estudos feitos e as orientações utilizadas na elaboração da unidade.

Inicialmente, realizamos uma estruturação da SEA, organizando um sequenciamento dos conteúdos conceituais que desejamos trabalhar com os estudantes para que, posteriormente, os conceitos fossem aprofundados para elaboração das aulas e atividades. A bibliografia utilizada estará referenciada ao longo das aulas e atividades apresentadas no capítulo 4.

Na sequência à estruturação inicial da SEA, foram definidos os objetivos de aprendizagem, as dimensões pedagógicas e epistemológicas e a construção dos argumentos padrão para matéria escura e energia escura, e todos estes elementos foram compartilhados e debatidos no Núcleo de Estudo e Extensão em Práticas Científicas e Epistêmicas em Situações de Ensino de Aprendizagem (PraCESE), o processo será explicitado a seguir.

O PraCESE é composto por professores em formação inicial e continuada, professores de Física da Educação Básica e do Ensino Superior e alunos do curso de licenciatura em Física. O grupo reúne-se semanalmente para a realização de estudos teóricos e atividades práticas na intenção de elaborar e desenvolver Sequências de Ensino e Aprendizagem (SEAs), promovendo no espaço da sala de aula comunidades de práticas (científicas e epistêmicas) por meio de atividades que almejam fomentar interações discursivas, que no processo de ensino e aprendizagem possam ser argumentativas, com o objetivo de favorecer a Alfabetização Científica dos estudantes.

Nas reuniões do PraCESE, foram levadas diferentes propostas acerca da construção da SEA. Dentre as contribuições e construções coletivas proporcionadas pelo núcleo, estão a definição do roteiro de conteúdos da SEA e suas possíveis abordagens, a definição dos princípios teóricos orientadores da SEA, elencando as dimensões epistêmicas e pedagógicas, os objetivos de aprendizagem e a construção dos argumentos padrão.

O roteiro da SEA, sequenciando os conteúdos que seriam abordados, está evidenciado no Quadro 3.0. Este roteiro auxiliou não só no processo de organização da SEA, mas também na construção do argumento padrão.

Quadro 3.0 - Roteiro da UD.

1. Constituição e arranjo do Universo.
2. Dinâmica e surgimento do Universo.
3. Universo em expansão.
 - a. O que mantém ele interligado é a ação gravitacional.
 - b. Depois de um certo tempo, essa expansão vai parar?!
4. Estudos mais específicos e constatações: A força gravitacional não está em acordo com a massa observável, **está faltando massa?!**
5. Para que essa expansão ainda esteja acontecendo (e acelerando) deve haver algum tipo de **energia desconhecida que se opõe à ação gravitacional.**
 - a. Atividade onde eles percebam que a teoria e os dados estão incoerentes.

Fonte: Própria do autor (2023).

Os objetivos de aprendizagem levados ao PraCESE estão apresentados no Quadro 3.1 e as revisões destes objetivos estão apresentadas no capítulo 4 com a proposta elaborada.

Quadro 3.1 - Objetivos de Aprendizagem das SEA's.

SEA	Objetivos de Aprendizagem
O Universo que Conheço	Nesta aula não há objetivos de aprendizagem presentes, esta aula visa mobilizar os estudantes para o tema, compreendendo os seus saberes e interesses.
A Constituição e a Dinâmica do Universo: Primeiras Ideias	Elencar objetos astronômicos e corpos celestes do Universo conhecido em cada contexto; Descrever a dinâmica dos modelos cosmológicos, e como os objetos astronômicos e corpos celestes conhecidos em cada contexto aparecem
A Constituição e a Dinâmica do Universo: Ideias Atuais	Identificar as ideias do Universo Estático; Identificar as ideias do Universo Dinâmico.
A Origem do Universo	Identificar as ideias e projeções da Teoria do Big Bang; Compreender a relação entre distância e velocidade das galáxias;
O Setor Escuro do Universo	Identificar as hipóteses da Matéria Escura e da Energia Escura

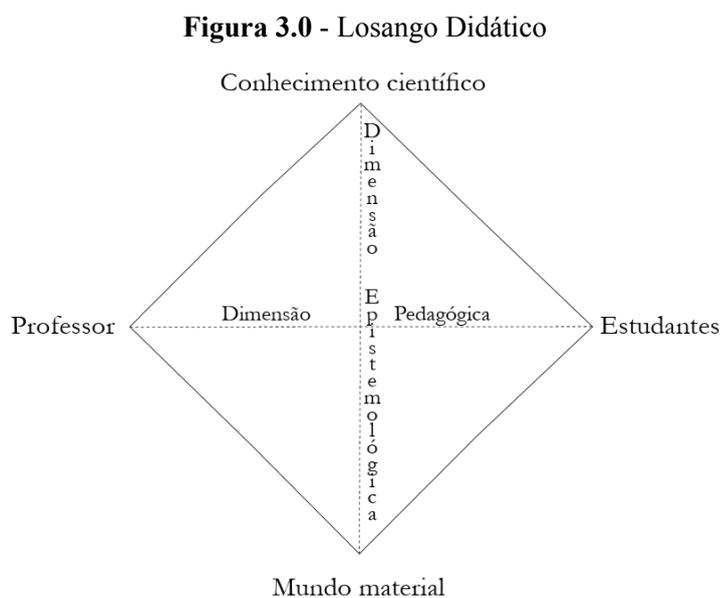
Fonte: Própria do autor (2023).

Para a deliberação das dimensões pedagógicas e epistemológicas consideramos o losango didático, que considera as interações necessárias no processo de ensino e de aprendizagem.

Na dimensão epistêmica, há uma ênfase na relação entre o conhecimento científico e o mundo material, considerando a Ciência como algo complexo e histórico-social. Isso implica que a escolha de situações-problema ou exemplos na sala de aula está diretamente ligada à forma como o professor contextualiza o conhecimento científico, tornando-o mais significativo e relevante para os estudantes. (SILVA; WARTHA, 2018, p.339-340)

Na dimensão didático-pedagógica, observa-se a interação entre professor e aluno. Isso envolve a maneira como o professor estabelece o diálogo em sala de aula, como são conduzidas as relações entre professor e aluno, e entre os próprios alunos. Estratégias de ensino, comunicação eficaz e criação de um ambiente propício ao aprendizado são aspectos fundamentais dessa dimensão. Esta dimensão enfatiza atividades em sala de aula que promovam discussões entre os alunos, incentivando a pesquisa e a análise de diferentes perspectivas sobre determinado tema. Isso cria um espaço com interações propícias para a construção coletiva do conhecimento. (SILVA; WARTHA, 2018, p.340)

Portanto, o losango didático estabelece uma conexão entre o contexto (mundo material) e o conceito (conhecimento científico).



Fonte: Silva e Wartha (2018, p. 339).

As dimensões para a nossa SEA estão identificadas no Quadro 3.2.

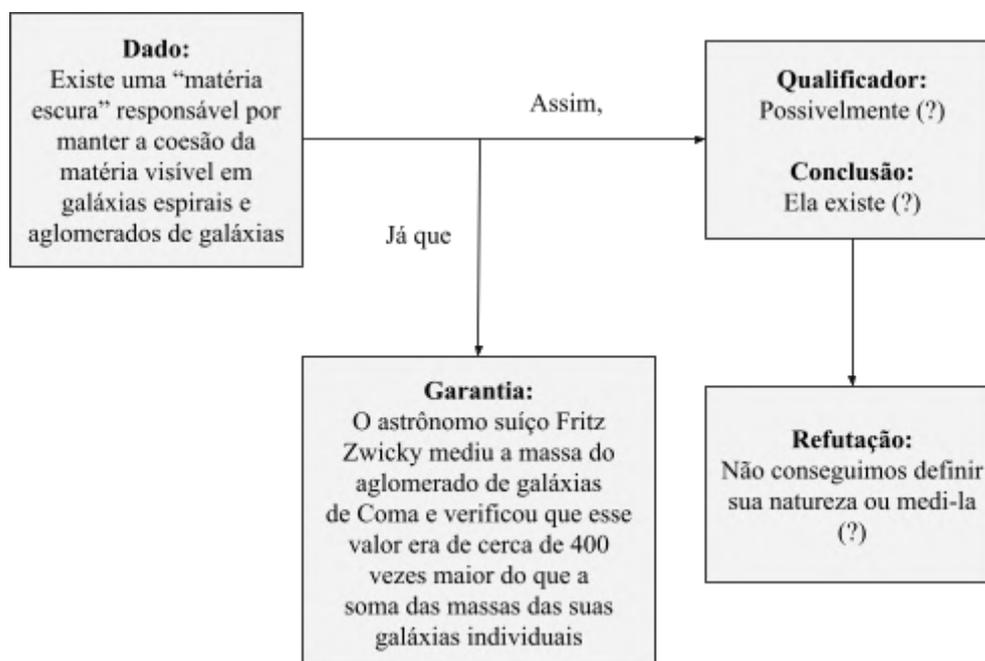
Quadro 3.2 - Princípios da SEA.

Princípios de Design	
Dimensão Epistemológica	Para se entender o comportamento do universo, em especial as hipóteses da Matéria Escura e da Energia Escura, é necessário a proposição de modelos teóricos, e dados que os sustentem.
Dimensão Pedagógica	Atividades contextualizadas que possibilitem as interações entre alunos na resolução de problemas.

Fonte: Própria do autor (2023).

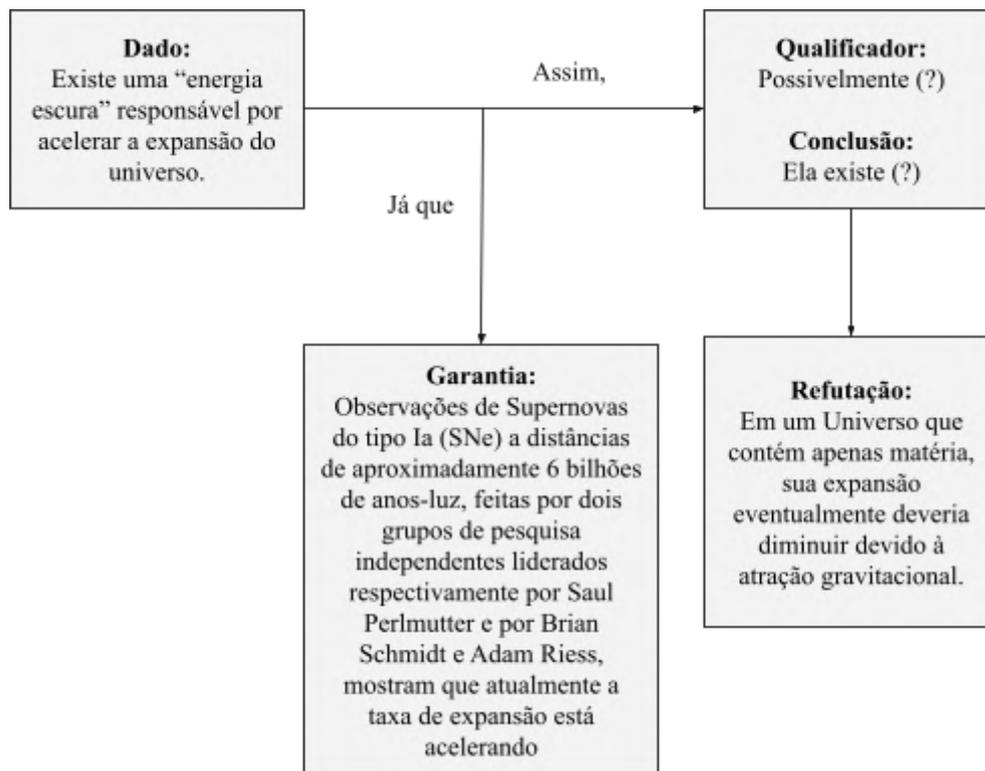
Por fim, uma início de construção para os argumentos padrões, seguindo a organização exposta na Figura 2.0, para massa escura (Figura 3.1) e para energia escura (Figura 3.2), foram levadas ao PraCESE para apreciações.

Figura 3.1 - Proposta inicial do Argumento Padrão - Matéria Escura



Fonte: Própria do autor (2023).

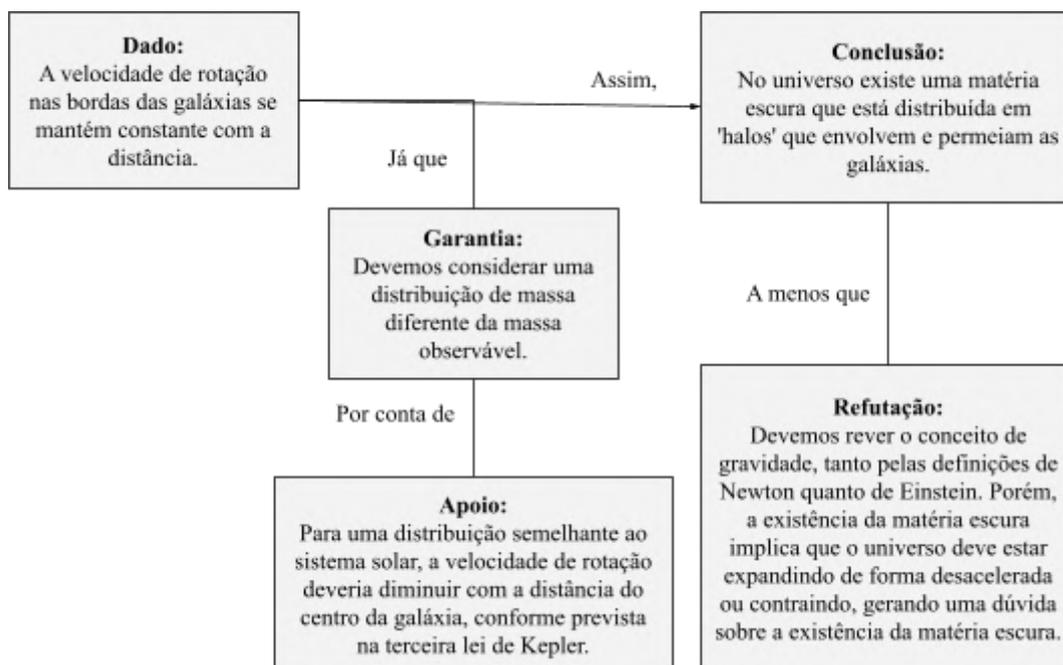
Figura 3.2 - Proposta inicial do Argumento Padrão - Energia Escura



Fonte: Própria do autor (2023).

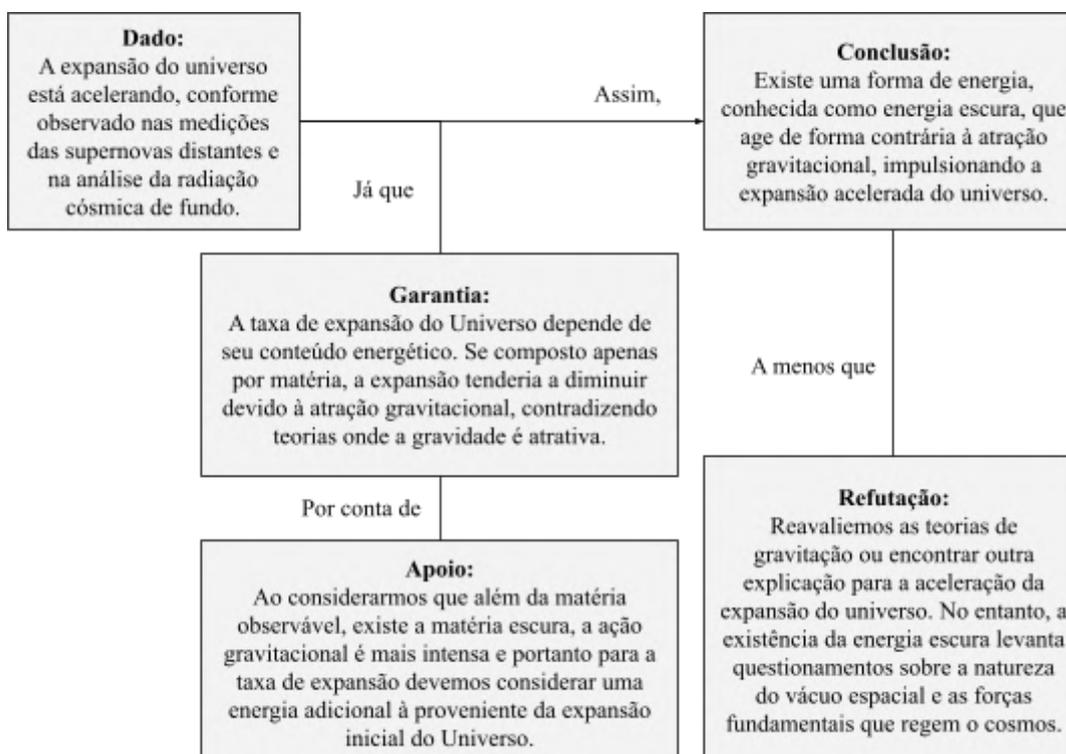
Após as apreciações, debates e sugestões no interior do PraCESE, os argumentos padrões foram reelaborados, sendo os novos argumentos padrão para matéria escura e energia escura apresentados na Figura 3.3 e na Figura 3.4, respectivamente.

Figura 3.3 - Argumento Padrão - Matéria Escura



Fonte: Própria do autor (2023).

Figura 3.4 - Argumento Padrão - Energia Escura



Fonte: Própria do autor (2023).

Com a reformulação dos argumentos padrões, as dimensões epistemológica e pedagógica foram revistas, assim como o roteiro apresentado, orientando para a definição dos

objetivos de aprendizagem. As reformulações serão apresentadas no capítulo 4, inseridas na estruturação da SEA, que orientou a organização da proposta e será detalhada na próxima seção.

4. PROPOSTA DA SEA

Neste capítulo, mostraremos o resultado da metodologia aplicada, descrevemos o planejamento para a SEA, o qual foi inspirado na proposta da elaboração de Unidades Didáticas Multiestratégicas (BENGO, 2016), em que na fase inicial, de planejamento, busca considerar o embasamento teórico e metodológico, estando em acordo com o as dimensões previstas no Losango Didático. Na sequência às fundamentações consideradas no planejamento, destacamos os objetivos e conteúdos de cada momento previsto na SEA, assim como os recursos didáticos e as atividades propostas, com caráter avaliativo. Além de sugestões feitas ao professor que tenha interesse em desenvolver a proposta.

Planejamento da SEA
Conteúdo programático da SEA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Modelos Geocêntricos e Heliocêntricos; 2. Contribuições de Galileu e Kepler; 3. Gravitação Newtoniana 4. Relatividade Geral 5. Modelos Cosmológicos Contemporâneos 6. Lei de Hubble 7. O Modelo Padrão (Big Bang) 8. O Modelo do Estado Estacionário 9. Matéria Escura 10. Energia Escura
Pré-requisitos para SEA
Não há pré-requisitos específicos, visto que fizemos a opção por desenvolvermos as aulas a partir de conhecimentos prévios dos estudantes, considerando que qualquer modelo apresentado poderia ser utilizado como ponto de partida para as discussões subsequentes.
Orientações curriculares oficiais sobre o tema
<p>A Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018) traz algumas competências e habilidades específicas ao ensino de ciências da natureza para o ensino médio, dentre elas:</p> <p>Competência 2: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.</p> <p>Habilidades:</p> <p>(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente;</p> <p>(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações</p>

gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

O **Parâmetro Curricular Nacional Plus** (BRASIL, 2002) estabelece alguns temas para o ensino de física, dentre eles, está o tema Universo, Terra e Vida, contendo algumas unidades temáticas:

1. Terra e sistema solar

- Compreender as interações gravitacionais, identificando forças e relações de conservação, para explicar aspectos do movimento do sistema planetário, cometas, naves e satélites.

2. O Universo e sua origem

- Conhecer as teorias e modelos propostos para a origem, evolução e constituição do Universo, além das formas atuais para sua investigação e os limites de seus resultados no sentido de ampliar sua visão de mundo.

3. Compreensão humana do Universo

- Conhecer aspectos dos modelos explicativos da origem e constituição do Universo, segundo diferentes culturas, buscando semelhanças e diferenças em suas formulações.
- Compreender aspectos da evolução dos modelos da ciência para explicar a constituição do Universo (matéria, radiação e interações) através dos tempos, identificando especificidades do modelo atual.

Conteúdos conceituais

Aspecto Fenomenológico:

- Os fenômenos associados ao tema seriam a expansão acelerada do Universo, contrapondo a ideia de que esta expansão deveria reduzir devido a atração entre massas;
- O fato da “massa visível” não ser o suficiente para manter corpos orbitando com a velocidade constante nas partes periféricas das galáxias.

Aspecto Teórico:

- Surgem hipóteses que explicam essa expansão acelerada e a coesão das massas nas galáxias, que são a energia escura e a matéria escura, respectivamente.
- Compreensão de aspectos da Natureza da Ciência.

Aspecto Representacional:

- As representações se dão pela apresentação gráfica de modelos planetários, galácticos e cosmológicos.

Tópicos do desenvolvimento histórico presente na SEA

A história do desenvolvimento dos conceitos tratados na proposta estão presentes no próprio desenvolvimento da SEA. A seguir indicaremos as referências utilizadas para abordarmos estes desenvolvimentos históricos e na sequência apontamentos referentes à SEA. A bibliografia apresentada também poderá ser considerada como fonte de estudo para professores que quiserem ou necessitarem aprofundar seus conhecimentos na temática.

Em relação aos conteúdos programáticos 1 e 2, utilizamos como referências para desenvolvimento do conteúdo os seguintes materiais:

(Os trechos estão bem desenvolvidos na descrição da SEA)

- “A Cruz e a Luneta: Ciência e religião na europa moderna” (CAMENIETZKI, C. Z.,

2000);

- “Cosmologia na teoria e na prática: possibilidades e limitações no ensino” (SKOLIMOSKI, K. N., 2014)
- “Projeto Harvard 2: Movimento nos céus” (RUTHERFORD, F. J.; HOLTON, G.; WATSON, F. G., 1970);

Em relação aos conteúdos programáticos 3, 4 e 5:

- “Cosmologia na teoria e na prática: possibilidades e limitações no ensino” (SKOLIMOSKI, K. N., 2014);
- “Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia” (HENRIQUE, A. B., 2011)
- “Projeto Harvard 2 : Movimento nos céus” (RUTHERFORD, F. J.; HOLTON, G.; WATSON, F. G., 1970);

Em relação aos conteúdos programáticos 6, 7, 8:

- “A origem do universo” (STEINER, J. E., 2006);
- “Cosmologia na teoria e na prática: possibilidades e limitações no ensino” (SKOLIMOSKI, K. N., 2014);
- “Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia” (HENRIQUE, A. B., 2011)

Em relação aos conteúdos programáticos 9 e 10:

- “A matéria escura no ensino médio” (XIMENES, S. J. C., 2016);
- “Matéria Escura no Ensino Médio” (XIMENES, S. J. C.; AGUIAR, C. E., 2023);
- “A origem do universo” (STEINER, J. E., 2006);
- “Cosmologia na teoria e na prática: possibilidades e limitações no ensino” (SKOLIMOSKI, K. N., 2014);
- “Matéria Escura e Energia Escura: uma revisão da literatura sobre um dos maiores enigmas da Física e Cosmologia contemporâneas” (RAMIRES, G. A. N. G.; MASSONI, N. T.; MORIGGI, A. V., 2022)
- “Matéria escura, energia escura e história da ciência na educação científica” (TEIXEIRA, R. R. P.; SOUZA, D. C. P., 2022)
- “The Accelerating Universe” (KVA, 2011);

Nestes materiais, buscamos reunir os conteúdos que nos permitissem:

- Explorar a transição dos modelos geocêntricos para o heliocentrismo;
 - Compreender motivações, desafios e implicações sociais, filosóficas e científicas das mudanças de paradigmas;
 - Identificar o contexto do surgimento das teorias da Gravitação Universal e da Relatividade Geral, expressando as suas ideias e limitações;
 - Identificar os modelos cosmológicos que surgem a partir de uma nova abordagem da gravidade;
 - Investigar o desenvolvimento histórico de modelos referentes a origem do universo;
 - Analisar o contexto em que surgem as hipóteses da matéria escura e energia escura.
-

Fatos e/ou personagens presentes no 2ª Momento:

- **Aristóteles** (384 - 322 a.C): Propôs um modelo geocêntrico baseado em esferas

concêntricas, onde a Terra estava no centro e as estrelas estavam na esfera mais externa. Seu modelo, apesar de influente, não explicava variações observadas nos corpos celestes.

- **Ptolomeu** (90 - 168 d.C): Desenvolveu um modelo mais complexo com epiciclos e deferentes para explicar as variações de movimento dos corpos celestes. Seu sistema ficou conhecido como geocêntrico e permitiu cálculos precisos das posições planetárias, mas não ofereceu uma explicação clara para os movimentos.
- **Nicolau Copérnico** (1473 - 1543): Propôs o modelo heliocêntrico, colocando o Sol no centro do sistema solar. Sua obra "As Revoluções dos Orbes Celestes" defendia que a Terra orbitava o Sol, juntamente com outros planetas, enquanto as estrelas permaneciam fixas.
- **Galileu Galilei** (1564 - 1642): Usou a luneta para observar detalhes celestes, como manchas solares, fases de Vênus e os satélites de Júpiter. Suas observações sustentavam o heliocentrismo e contestavam as antigas teorias das esferas celestes.
- **Johannes Kepler** (1571 - 1630): Colaborador de Tycho Brahe, analisou os dados astronômicos para descrever as órbitas dos planetas. Propôs que as órbitas planetárias eram elípticas, não circulares, e enunciou as leis do movimento planetário.

Fatos e/ou personagens presentes no 3ª Momento:

• Contribuição de Newton: A Gravitação Universal

Físicos como Halley, Wren e Hooke debatiam a necessidade de uma força para explicar as órbitas elípticas dos planetas de acordo com as Leis de Kepler. Foi Isaac Newton, convocado por Halley, que apresentou a solução no Principia. Sua teoria da Gravitação Universal postulava que todos os objetos se atraem mutuamente, dependendo de suas massas e distâncias.

Newton unificou suas leis do movimento e demonstrou a relação entre a força gravitacional, órbitas elípticas e acelerações dos planetas, embasando-se na observação telescópica dos satélites de Júpiter e Saturno.

• Limitações da Gravitação Universal

Apesar de explicar bem as interações dentro de uma galáxia, a Gravitação Universal não se aplica perfeitamente às interações entre galáxias ou ao mundo subatômico. Erros na previsão do movimento angular do eixo da órbita de Mercúrio demonstraram essas limitações, levando à necessidade de desenvolver teorias mais precisas em casos extremos.

• A Revolução da Relatividade de Einstein

As teorias da relatividade de Albert Einstein, construídas sobre as bases de Maxwell e Poincaré, transformaram a visão do cosmos. Em 1917, Einstein aplicou suas teorias na construção de um modelo cosmológico, introduzindo a ideia de um universo com espaço curvo.

Einstein buscava um universo estático, influenciado pelo "princípio de Mach" de Ernst Mach, relacionando a inércia à interação com toda a massa do universo. No entanto, as soluções da Relatividade Geral apontavam para um universo em expansão ou contração, desafiando sua visão estática.

• Modelos Cosmológicos após a Relatividade Geral

Físicos como Friedmann e de Sitter exploraram modelos compatíveis com a Relatividade Geral. Friedmann considerava que a situação do universo seria determinada por sua densidade, podendo ser estático, em expansão ou contração. De Sitter propôs um universo em expansão e sem matéria.

Essas teorias abriram questões sobre a formação e evolução do Universo, levantando a indagação se ele sempre foi como o conhecemos ou se se formou ao longo do tempo.

Fatos e/ou personagens presentes no 4ª Momento:

• **Origem do Universo**

Para entender o modelo cosmológico atual, é válido considerar as contribuições históricas de diversos cientistas, como Vesto Slipher, Knut Lundmark, Gustav Stromberg e Edwin Hubble.

• **Observações de Redshift e a Lei de Hubble**

Slipher identificou o redshift em nebulosas distantes, sinalizando o afastamento. Lundmark e Stromberg expandiram essas observações, mostrando variações nos padrões de redshift. Hubble estendeu essas medidas, estabelecendo a Lei do Redshift-Distância, confirmando a expansão do universo.

• **Contribuições de Lemaitre e o Modelo do Átomo Primordial**

George Lemaitre propôs um modelo em que o universo estava em expansão, mas posteriormente, em 1931, introduziu a ideia do "modelo do átomo primordial", sugerindo um nascimento súbito para o universo. Ele imaginou um universo concentrado em um estado muito denso que se fragmenta, originando tudo que conhecemos.

• **Surgimento das Teorias do Big Bang e do Estado Estacionário**

A década de 1930 testemunhou a aceitação dos modelos de universo em expansão. Mais tarde, no final dos anos 1940, surgiram a teoria do Big Bang e a teoria do Estado Estacionário.

• **Desenvolvimento da Teoria do Big Bang e sua Abordagem**

George Gamow, em 1946, associou a física nuclear à cosmologia, propondo um universo inicial quente e denso que colapsou, iniciando a expansão. Ele descreveu um universo extremamente quente onde massa e energia coexistiam antes da formação dos átomos.

• **Desenvolvimento da Teoria do Estado Estacionário e sua Contestação**

A teoria do Estado Estacionário, proposta por Bondi, Gold e Hoyle, discordava de um início definido no tempo, defendendo a criação contínua de nova matéria para explicar a formação das galáxias. Discordava também da concepção da formação das galáxias pela contração gravitacional.

• **Descoberta da Radiação Cósmica de Fundo**

George Gamow, nos anos 1940, sugeriu que a explosão inicial poderia deixar resquícios detectáveis na forma de radiação. Em 1965, Penzias e Wilson descobriram essa radiação como um eco do Big Bang.

Fatos e/ou personagens presentes no 5ª Momento:

• **Leis de Kepler e Movimento Planetário**

As leis de Kepler explicam bem o movimento planetário no Sistema Solar, onde a velocidade diminui conforme o raio da órbita aumenta, mostrando boa concordância com dados empíricos.

• **Curvas de Rotação de Galáxias**

Diferentemente do esperado pela terceira lei de Kepler, as galáxias apresentam comportamento de rotação distinto, mantendo uma velocidade quase constante nas regiões periféricas.

• **Hipótese da Matéria Escura**

Devido a essas discrepâncias, surge a hipótese da matéria escura, uma entidade invisível que interage gravitacionalmente, explicando a estabilidade da curva de rotação das galáxias.

• **Energia Escura e Expansão do Universo**

A presença de matéria escura levanta questões sobre a expansão do universo. Descobertas de supernovas distantes sugerem uma expansão acelerada, explicada pela presença de energia escura, uma forma de energia com propriedades anti gravitacionais.

Abordagem Metodológica
<p>Como citamos ao longo do referencial teórico do trabalho, optamos por abordagens que permitam os alunos desenvolver práticas científicas e epistêmicas, práticas essas que fazem parte do processo argumentativo e que favorecem a alfabetização científica.</p> <p>Sasseron (2018) em seu trabalho fala sobre as interações discursivas nas aulas de ciências, enfatizando como essas interações entre professores e alunos são cruciais para o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas. Essas interações não têm um único propósito, mas servem a várias funções, desde criar um ambiente informativo até facilitar discussões e construção de entendimento.</p> <p>A autora explora o papel dessas interações no desenvolvimento da linguagem científica, mostrando como termos e expressões refletem o entendimento científico dos fenômenos naturais e como essa linguagem é fundamentalmente argumentativa, demandando justificações e contextos definidos para serem aceitos pela comunidade científica.</p> <p>Ela também destaca que esses processos argumentativos são parte integrante das práticas epistêmicas das ciências, acompanhando a investigação e a construção de modelos explicativos.</p> <p>Portanto, independente das estratégias utilizadas temos como principal orientação a promoção das interações discursivas.</p>

Título, Objetivos De Aprendizagem e Momentos da SEA		
Título da SEA		
Da cosmologia clássica à energia escura e matéria escura		
Objetivo da SEA		
<p>Objetivo de Ensino</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar atividades que contribuam para a construção ativa dos conhecimentos sobre cosmologia, nos quais os estudantes envolvem-se com as situações-problemas, constituindo no espaço escolar comunidades de práticas. <p>Objetivos de Aprendizagem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reconhecer que a ciência é fruto da construção humana e portanto sofre influência do contexto social e histórico no qual ela se desenvolve. Além de identificar diferentes processos presentes no desenvolvimento da ciência. • Elaborar argumentações fundamentadas, utilizando-se de elementos inerentes à escrita argumentativa. • Apropriar-se de conhecimentos acerca do Universo, em particular, elementos de sua constituição, sua origem e sua dinâmica. 		
Momentos	Conteúdo Programático da SEA	Aula(s)
O universo que conheço	• Não há conteúdo programático para esta aula	1

A Constituição e a Dinâmica do Universo: Primeiras Ideias	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos Geocêntricos e Heliocêntricos • Contribuições de Galileu e Kepler 	2
A Constituição e a Dinâmica do Universo: Ideias Atuais	<ul style="list-style-type: none"> • Gravitação Newtoniana • Relatividade Geral • Modelos Cosmológicos Contemporâneos 	1
A Origem do Universo	<ul style="list-style-type: none"> • Lei de Hubble • O Modelo Padrão (Big Bang) • O Modelo do Estado Estacionário 	1
O Setor Escuro do Universo	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria Escura • Energia Escura 	2

Seleção das estratégias didáticas e das estratégias de avaliação
Momento 1
O universo que conheço
Objetivo
<p>Objetivos de Ensino</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar as concepções iniciais dos alunos acerca do que eles entendem por universo, sua estrutura e seu comportamento; • Identificar por quais meios eles adquiriram esses conhecimentos e concepções acerca do universo. <p>Objetivos de Aprendizagem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nesta aula não há objetivos de aprendizagem presentes, esta aula visa mobilizar os estudantes para o tema, compreendendo os seus saberes e interesses.
Avaliação
A avaliação se dá pela análise acerca das respostas dos questionários, verificando se os alunos entenderam o propósito da atividade e se conseguiram fazê-la.
Aula
1
Estratégia Didática
Método de trabalho independente: (PIMENTA, S. A.; CARVALHO, A. B. G., 2008) Os alunos devem fazer de forma individual, com orientação do professor).
Conteúdos de ensino
Não há conteúdos programáticos para esta aula, será uma aula de investigação de concepções prévias.
Recursos Didáticos

Não será utilizado nenhum recurso didático específico além das folhas da Atividade 1.

Descrição do Momento 1

O professor pode apresentar o que será desenvolvido nas próximas aulas, nas quais os alunos conhecerão um pouco de como a cosmologia se desenvolveu ao longo da história, buscando analisar a dinâmica da ciência.

Nesta primeira aula, o professor através da Atividade 1 investigará as concepções prévias acerca do Universo, visando posteriormente trazer um debate para onde essas concepções possam ser confrontadas e os alunos tenham a oportunidade de expressar seus argumentos.

Instrumento de Avaliação

Atividade 1

A origem das coisas sempre foi uma preocupação central da humanidade; a origem das pedras, dos animais, das plantas, dos planetas, das estrelas e de nós mesmos. Mas a origem mais fundamental de todas parece ser a origem do universo como um todo – tudo o que existe. Sem esse, nenhum dos seres e objetos citados nem nós mesmos poderíamos existir. (Fonte: Origem do Universo e do Homem (STEINER, 2006, p.233))

Figura 01 - O aglomerado globular NGC 6355 visto pelo telescópio Hubble.



Fonte: (ESA/Hubble & NASA, E. Noyola, R. Cohen, 2023)

Todos nós possuímos concepções acerca do universo em que vivemos. Sejam estas influenciadas por elementos que nos são apresentados em filmes e séries, descobertas anunciadas por noticiários, conteúdos que vemos em sala de aula ou mesmo as

representações feitas pela nossa própria imaginação. Baseado nisso, utilize as suas ideias para responder às questões abaixo.

- A. O que você conhece do nosso universo? Utilize o quadro abaixo para representar da maneira que você achar melhor (Seja por desenhos, textos, fluxogramas...)

--

- B. Qual é o comportamento desse Universo? Ele está parado? Quais movimentos você reconhece?

--

- C. Por quais meios você obteve esses conhecimentos? (Filmes, livros, aulas, notícias...)

--

INTENCIONALIDADE

A expectativa acerca das respostas é que os alunos façam representações que remetem o universo como sendo o sistema solar, além de elementos astronômicos que eles tenham algum conhecimento (como buracos negros, estrelas...). A intencionalidade é fazer um debate na aula seguinte, confrontando as ideias prévias dos estudantes.

Momento 2		
A Constituição e a Dinâmica do Universo: Primeiras Ideias		
Objetivo		
Objetivos de Ensino <ul style="list-style-type: none"> • Definir, através da discussão da Atividade 1, o que é um Modelo Cosmológico • Apresentar os modelos cosmológicos clássicos a partir da perspectiva dos cientistas, evidenciando argumentos e crenças acerca da dinâmica do universo Objetivos de Aprendizagem <ul style="list-style-type: none"> • Analisar modelos, compreendendo os fatores que influenciam sua construção e manutenção 		
Avaliação		
Como método avaliativo, consideramos as respostas da Atividade 2.		
Aula	Estratégia Didática	Conteúdos de ensino
1	Aula Expositiva	Modelos Geocêntricos e Heliocêntricos

2	Aula Expositiva	Contribuições de Galileu e Kepler
Recursos Didáticos		
<p>É interessante que o professor utilize de animações e vídeos para ajudar na visualização dos modelos que serão tratados.</p> <p>Em ambas as aulas, sugerimos a montagem de uma apresentação de slides, considerando como referência a “descrição das atividades” abaixo.</p>		

Descrição do Momento 2

O professor pode trazer as respostas dos alunos, dadas na aula anterior, a fim de promover uma discussão sobre suas concepções. Esta discussão deve gerar um debate que possibilite ao professor retratar o que é um modelo cosmológico, partindo da ideia de que as representações dos estudantes são modelos.

Deste modo, pode-se introduzir a estrutura de um argumento (seguindo a ideia do argumento padrão de Toulmin), apresentando os conceitos que constituem e estruturam um argumento. Assim, pode-se falar sobre o desenvolvimento desta aula, onde será apresentado um panorama histórico acerca dos modelos cosmológicos clássicos.

Pode-se então iniciar a discussão histórica a partir da ideia geocêntrica.

Quando paramos para observar os movimentos de corpos celestes como o Sol, a Lua e as estrelas no dia-a-dia, intuitivamente temos a percepção de que estes corpos estão girando ao nosso redor, como se estivéssemos no centro em relação a eles. Para alguns, essa ideia pode fazer sentido, mas para outros ela já é uma ideia superada, principalmente se você tem algum conhecimento em astronomia.

Este **modelo cosmológico**, tendo nós (a Terra) como referência central de um sistema planetário, teve diferentes explicações, desde os mitos cosmogônicos de civilizações antigas (como os Maias) até as interpretações e teorias de filósofos e pensadores da Grécia Antiga. No geral, este modelo é denominado **modelo geocêntrico**. Dentre alguns dos pensadores que defendem este modelo, temos Aristóteles (384 - 322 a.C) e Ptolomeu (90 - 168 d.C.), os quais podemos distinguir pelas explicações acerca da dinâmica do universo com base nos dados em que cada um deles possuíam para poder formular suas explicações.

A partir deste panorama, o professor pode introduzir as ideias aristotélicas.

Recursos Auxiliares	
Modelo Aristotélico	Modelo Aristotélico 3D

Aristóteles propôs um modelo composto de 49 esferas concêntricas, cuja esfera mais externa era a esfera onde ficavam as estrelas, fixas. Todavia, este modelo não conseguia explicar as variações de tamanho e brilho que podem ser observados ao longo do ano em corpos celestes como o Sol, a Lua e os Planetas. É importante lembrar que, até o século XVII, apenas 5 planetas eram conhecidos (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) - além da própria Terra.

Após a discussão das ideias aristotélicas, introduzir as concepções ptolomaicas.

Recursos Auxiliares		
Modelo Ptolomaico	Modelo Ptolomaico 3D	Animação Epícielos

Ptolomeu então propôs um modelo que visa explicar essas variações, mantendo ainda assim, a Terra no centro e as esferas que carregavam os astros.

“Ptolomeu imaginou que as mesmas esferas carregavam os astros; mas seus movimentos não eram mais exatamente centrados na Terra. Para ele, os planetas continuavam presos a esferas que giravam em torno de círculos cujos centros giravam ao redor da Terra. Sistema complexo, esta proposta de Ptolomeu ficou conhecida como sendo o modelo do epícielo e deferente — nomes dados ao círculo menor que carrega o planeta e ao círculo maior que leva o centro do menor. Neste sistema do mundo, cada um destes círculos gira com velocidade própria e o resultado visto da Terra poderia ser compatível com as exigências de corresponder aos movimentos observados e às variações de brilho e de tamanho aparentes dos planetas.” (A Cruz e a Luneta, pag. 35)

Este modelo conseguiu prever, através de cálculos longos e repetitivos, com relativa precisão, as fases da lua, eclipses, início e fim das estações do ano e as posições dos planetas. Porém, apesar de Ptolomeu conseguir **descrever** com boa aproximação o movimento estranho dos planetas através do seu modelo, que pode variar sua velocidade e mudar o sentido do movimento durante a sua trajetória, ele não conseguia fornecer **explicações** da causa desses movimentos tão complexos.

Introduzir o modelo heliocêntrico.

Antes mesmo do século XVI, já havia pensadores que especulavam a ideia de que o Sol pudesse ser o centro do sistema. Mas tratando especificamente dessa época, textos começam a ser divulgados defendendo a ideia de que, esses complexos movimentos dos astros seriam mais facilmente explicados se, de fato, o Sol estivesse no centro do sistema. A este modelo damos o nome de **modelo heliocêntrico** e entre seus defensores temos Nicolau Copérnico (1473 - 1543), Galileu Galilei (1564 - 1642) e Johannes Kepler (1571 - 1630). Novamente, os defensores deste modelo para sustentarem suas concepções de modelo cosmológico apresentam suas **hipóteses** (que podem estar fundamentadas em crenças ou contextos sociais, econômicos, políticos e culturais) ancoradas em **evidências**.

Introduzir as ideias copernicanas.

Para apresentar seu modelo cosmológico, em 1543, Copérnico publica sua obra "As Revoluções dos Orbes Celestes", a qual afirmava que o Sol está no centro do nosso sistema, a Terra gira ao redor do Sol ao longo do ano e em torno de si mesma em vinte e quatro horas, os demais planetas circulam ao redor do Sol, a Lua orbita em volta da Terra, e por fim, as estrelas não possuem movimento algum, estão paradas e presas à última esfera.

Entre as justificativas utilizadas por Copérnico, a primeira estava relacionada à simplicidade do modelo heliocêntrico, conseguindo explicar facilmente as inúmeras voltas que os planetas fazem no céu. Já a segunda justificativa, estava relacionado ao centro do mundo ser uma posição privilegiada, nobre, e portanto deveria pertencer ao Sol, um astro que ilumina e dá vida aos demais, ao contrário da Terra que é um lugar escuro e sem brilho.

Os opositores à hipótese de Copérnico na época afirmavam que havia um problema com o movimento da Terra. Eles **argumentavam** que todas as coisas apoiadas sobre corpos em movimento ficam instáveis e podem se desequilibrar, mas isso não acontecia com os prédios e construções feitas pelos homens; as nuvens, que acompanham os ventos, deveriam se mover no sentido oposto ao movimento da Terra, se esta estivesse em movimento. Na hipótese de Copérnico, a velocidade da Terra teria que ser muito grande, e para eles, esse movimento não poderia passar despercebido.

Outro **argumento** era que, se a Terra girasse em torno do Sol, deveríamos ver as constelações com tamanhos diferentes ao longo do ano. Estando de um lado do Sol, as constelações que estivessem do mesmo lado pareceriam maiores do que quando observadas seis meses depois, quando a Terra estivesse do lado oposto. Isso não poderia estar certo a menos que a distância que separa o Sol da esfera das estrelas fosse demasiadamente grande,

pois dessa forma, não poderia perceber a diferença, todavia o mundo teria que ser muito maior do que se podia imaginar.

Mas uma ideia que vinha sendo contestada desde o século XIII era a questão das esferas cristalinas. Muitos estudiosos duvidavam da existência dessas esferas, contestando o seu tamanho desmedido e sua dinâmica complexa, além da indefinição de alguns eventuais fenômenos celestes como os cometas. Nos modelos com esferas cristalinas, os cometas eram fenômenos que aconteciam na atmosfera, passando na região mais alta do ar, próximo a esfera da Lua.

A partir do século XV, novas constatações foram feitas, mostrando que, os cometas tinham sempre a cauda oposta ao Sol (como se estivesse fugindo), que eles poderiam ser vistos de dois pontos distantes entre si (como Lisboa e Varsóvia) além da não influência da Lua sobre o cometa, como deveria acontecer pela proximidade de ambos os corpos. Então, em 1577, um cometa aparece e os astrônomos se põem a estudar o seu movimento.

Introduzir as ideias de Tycho Brahe.

Recursos Auxiliares

[Modelo Tycho Brahe](#)

Tycho Brahe (1546 - 1601), através de uma técnica chamada paralaxe, desenvolveu um método de observação para saber, ao menos comparativamente, sua distância da Terra. O dinamarquês acabou constatando que o cometa de 1577 não poderia estar abaixo da Lua; e, mais ainda, que ele se aproximava e se afastava da Terra ao longo de sua trajetória. O resultado era surpreendente para muitos estudiosos e rapidamente uma polêmica se instalou, tratando de diversos temas astronômicos. Se o cometa se aproxima e se afasta da Terra, o que fazer com as tais esferas cristalinas? Como pode o cometa passar por elas sem quebrá-las? Então, diversos astrônomos passaram a defender a ideia de que as esferas não existiam realmente, eram apenas imaginadas, simples expediente para realizar cálculos e previsões com alguma precisão.

Tendo aprimorado a técnica das paralaxes, Tycho Brahe passou a calcular as distâncias entre os planetas e a Terra. Não era possível ter uma noção precisa destes valores, mas a paralaxe permitia ao menos a obtenção de valores relativos destas distâncias em diversas épocas do ano. O resultado foi igualmente surpreendente: foi possível constatar que Marte

ficava mais próximo da Terra que o Sol em alguns momentos do ano; em outros, mais longe! Este resultado subvertia a ideia que se tinha do mundo e dos movimentos dos astros.

As observações e as conclusões de Tycho Brahe foram sistematizadas numa nova proposta para a organização do sistema do mundo. Ele propunha que a Terra ocupava o centro da esfera das estrelas, do movimento da Lua e do Sol; porém, os demais planetas — Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno — circulavam ao redor do Sol. É claro, neste modelo do mundo não mais havia possibilidade de encaixar as famosas esferas duras que carregavam os planetas. Tycho Brahe então, trouxe a ideia de um **modelo policêntrico**, onde a Terra ocuparia o centro de alguns movimentos e o Sol seria o centro do resto. De certo modo, podemos dizer que, na essência, Tycho Brahe tentava manter a defesa de um modelo geocêntrico, visto que a Terra permaneceria no centro do universo.

A ideia de Tycho Brahe obteve rapidamente diversas adesões. Mas ainda restavam algumas questões: Se os planetas não se moviam presos a esferas, como poderiam flutuar no espaço? O que os forçava a circular? E como explicar a causa desses movimentos tão complexos? Apesar de apresentar previsões com boas aproximações, o modelo possuía muitas complicações se comparado ao modelo heliocêntrico.

Introduzir as contribuições de Galileu.

Assim como haviam estudiosos que mantinham a defesa de um modelo geocêntrico, outros defendiam o modelo heliocêntrico proposto por Copérnico, como o estudioso Galileu Galilei. Galileu era matemático na Universidade de Pádua, no norte da Itália, quando decidiu adaptar e utilizar em seus estudos astronômicos um instrumento inventado nos Países Baixos: a luneta. Inicialmente usada apenas em navios e para avistar o inimigo nas guerras, esse instrumento possibilitou a Galileu a observação de coisas que não se imaginava existir nos céus.

Ele apresentou que a Lua, além de manchada, era cheia de buracos e de montanhas, viu os satélites de Júpiter pela primeira vez, viu que Vênus tinha fases tal e qual a Lua e, o que era mais estranho, Saturno parecia andar sempre com dois companheiros ao seu lado — só foi possível identificar os anéis na segunda metade do século XVII, quando Galileu já estava morto.

Tão logo constatou esses fatos, em 1610, Galileu publicou um pequeno livro narrando suas descobertas — quase todas, pois a existência dos dois companheiros de Saturno ele apenas comunicou em carta a alguns amigos próximos.

A Mensagem das Estrelas, título do livro de Galileu, teve um sucesso imediato. O impacto dessas descobertas astronômicas foi enorme. Em poucos meses, os estudiosos da Europa se puseram a discutir o significado das novidades observadas graças ao uso da luneta. De fato, os satélites de Júpiter e as fases de Vênus representaram evidências que contribuíram para a superação das antigas teorias das esferas celestes. Não seria mais aceitável propor que os planetas fossem levados por esferas cristalinas.

Porém, tão importante quanto isso era a noção de que o mundo não poderia ter um único centro de todos os movimentos planetários. Afinal, os quatro pequenos companheiros de Júpiter não rodavam em volta da Terra, nem do Sol.

Introduzir as concepções de Kepler.

Um estudioso chamado Johannes Kepler trabalhou com Tycho Brahe e estudou profundamente suas tabelas e dados astronômicos. Bom matemático, Kepler constatou que havia um pequeno erro que se repetia nos cálculos do dinamarquês para a estranha trajetória de Marte. Por mais cuidado que se pudesse ter, as contas feitas com os círculos e epiciclos não conferiam; não havia como fechar um círculo exato! Kepler então, considerou que a circularidade tida até então como característica inquestionável dos movimentos dos corpos celestes, não tinha fundamento nas observações de Tycho — seus dados foram recolhidos com muita diligência por uma equipe de diversas pessoas coordenadas por ele.

Recusando-se a atribuir o erro às medidas de Tycho Brahe, Kepler propôs que as órbitas dos planetas não fossem linhas circulares. Essas trajetórias teriam a forma de elipses pouco deformadas em relação ao círculo. Copernicano, ele sustentava que os planetas sempre giravam em linha elíptica, com o Sol em um dos focos desta curva. A teoria era inusitada, mas possibilitava ajustar-se aos dados observados do movimento de Marte.

Kepler analisava os dados das posições dos planetas no céu, buscando relações entre as medidas que pudessem apresentar alguma regularidade. De todo esse esforço, ele retirou ainda outros dois resultados muito importantes:

- O primeiro dizia que a linha que une o Sol ao planeta percorre áreas iguais em tempos iguais.
- O segundo dizia que há uma proporção fixa entre o quadrado do tempo que o planeta leva para dar uma volta completa ao redor do Sol e o cubo da distância média que o separa dele.

Contudo, é importante registrar que o trabalho de Kepler demorou um pouco para ser valorizado. Hoje em dia, esses resultados que acabamos de apresentar são conhecidos como as três leis de Kepler do movimento dos planetas: a lei das órbitas, a lei das áreas e a lei dos períodos de rotação.

Entre os filósofos daquele tempo que não deram muita importância aos trabalhos de Kepler, havia o próprio Galileu Galilei. De fato, propor que os planetas andassem realmente em outra trajetória além do círculo parecia uma enorme bobagem. Afinal, o círculo é uma linha perfeita, acreditava-se; suas partes são sempre idênticas em qualquer trecho que se pegue, ela não tem começo nem fim, é linha simples, etc. Qual caminho poderia ser mais conveniente a corpos perfeitos?

Instrumento de Avaliação

Atividade 2
<p>A. Quais as evidências que favorecem o modelo geocêntrico?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
<p>B. Quais as evidências que favorecem o modelo heliocêntrico?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
<p>C. Os argumentos utilizados pelos pensadores para defenderem os seus modelos são unicamente científicos? Justifique.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
<p>D. Quais semelhanças você consegue perceber entre o seu modelo e os modelos apresentados?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>

INTENCIONALIDADE

O professor não deve ater-se somente à exposição dos conteúdos durante a apresentação, mas promover debates ao longo da apresentação a fim de identificar situações

onde ficam evidentes as influências de crenças, os argumentos científicos, os confrontos e demais elementos que contribuem para o desenvolvimento dos modelos.

Momento 3
A Constituição e a Dinâmica do Universo: Ideias Atuais
Objetivo
<p>Objetivos de Ensino</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apresentar o desenvolvimento histórico da Gravitação Universal e da Relatividade Geral, evidenciando limitações e consequências provenientes dessas teorias • Apresentar o caráter atrativo da gravidade <p>Objetivos de Aprendizagem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entender os princípios fundamentais da gravitação universal de Newton • Compreender as bases teóricas da relatividade geral de Einstein e sua influência na visão do cosmos • Reconhecer as implicações cosmológicas das teorias gravitacionais em relação à estabilidade do universo • Identificar as limitações dos modelos gravitacionais em diferentes escalas cósmicas e astronômicas
Avaliação
Como método avaliativo, consideramos as respostas da Atividade 3.
Aula
1
Estratégia Didática
Aula Expositiva
Conteúdos de ensino
<ul style="list-style-type: none"> • Gravitação Newtoniana • Relatividade Geral • Modelos Cosmológicos Contemporâneos
Recursos Didáticos
É interessante que o professor considere montar uma apresentação de slides, ou faça um organograma no quadro/lousa para evidenciar os tópicos, tendo como referência a descrição da atividade abaixo.

Descrição do Momento 3

O professor pode relembrar o que foi visto na aula anterior, onde foram apresentados a perspectiva de vários pensadores em relação aos modelos Geocêntricos e Heliocêntricos, e quais influências afetam estas ideias, sejam essas influências sociais ou crenças pessoais.

Como último exemplo, citar Kepler, que iniciou seus estudos aceitando as concepções de Platão sobre a importância dos modelos geométricos, e a ênfase de Aristóteles de “movimento natural” para explicar o movimento das coisas.

Porém, tanto nos trabalhos de Galileu quanto nos de Kepler restaram questões. O que faz os planetas se manterem conectados ao Sol? Como explicar as trajetórias observadas?

A partir daí, seguir o desenvolvimento histórico.

Alguns físicos como Halley, Christopher Wren e Robert Hooke discutiam a necessidade da existência de uma força para fazer com que um corpo (planeta) pudesse mover-se ao longo de uma elipse de acordo com as Leis de Kepler. Isaac Newton (1643-1727), que havia publicado a *Teoria da Luz e das Cores* em 1702, foi chamado por Halley para ajudar neste problema. Tendo apresentado uma possível solução ao problema, foi convencido por Halley a publicar seus resultados, surgindo ali o *Principia* de Newton.

Este trabalho contém várias evidências matemáticas e físicas, dentre elas está a que mais nos interessa: A gravitação universal.

Apresentar a gravitação universal.

A sua ideia era: No universo qualquer objeto atrai qualquer outro. Além disso, esta atração depende das massas dos objetos e da distância entre eles. A síntese de Newton foi estender as explicações para o movimento dos astros para o movimento dos corpos próximos à superfície terrestre. De modo que a lei da gravitação receberia o nome de Lei da Gravitação Universal e a força gravitacional uma força universal, que atua tanto sobre os corpos celestes quanto sobre os corpos terrestres. Ou seja, a força que faz uma pedra cair ao abandonarmos-a no ar é a mesma força que faz a Lua orbitar a Terra, e a Terra o Sol.

Newton acreditava que o movimento natural dos planetas seria em linha reta, mas que o Sol os influenciava a percorrer uma trajetória curvilínea. Unificando suas leis do movimento, Newton conseguiu demonstrar a lei das áreas e dos períodos de Kepler, mostrando que a primeira seria satisfeita desde que a força estivesse direcionada sempre ao mesmo ponto, independente da sua intensidade, e que as acelerações dos planetas em relação

ao Sol diminuíram com o quadrado das distâncias médias em relação ao astro. Além disso, teve uma evidência experimental através de observações telescópicas dos satélites de Júpiter e Saturno, os quais obedeciam à lei das áreas de Kepler em torno do planeta tomado como centro.

Mas a existência da Gravitação Universal gerou um grande problema cosmológico: Como o universo poderia se manter estável se a gravidade é sempre atrativa? Para resolver esse problema, a visão cosmológica de Newton era de um universo infinito, com infinitas estrelas distribuídas homoganeamente, e como as distâncias entre elas seriam as mesmas, a atração de umas sobre as outras faria o universo ser aproximadamente estável. Todavia, mesmo um universo infinito deveria estar em colapso gravitacional, pois os corpos celestes estariam sujeitos a uma infinita atração gravitacional.

Assim como vimos na aula anterior, em que eram feitos modelos para representar o nosso Universo, a Gravitação Universal é um modelo para explicar a dinâmica deste Universo, e ela também tem suas limitações. Apesar das interações no interior de uma galáxia serem bem explicadas pelas previsões newtonianas, não podemos dizer o mesmo da interação entre uma galáxia e outra. Da mesma maneira, no mundo dos átomos e partículas subatômicas, são desenvolvidos um conjunto de conceitos não-newtonianos para poder explicar a dinâmica dessas partículas.

Mas não precisamos necessariamente mudar de escala para identificarmos discrepâncias entre as previsões e observações. Dentro do sistema solar, há o problema do movimento angular do eixo da órbita de Mercúrio, que excede a previsão newtoniana em cerca de $1/80^\circ$ por século. Após estudos, concluiu-se que não há como modificar, ou corrigir, a mecânica newtoniana para explicar observações como esta, deve-se desenvolver novas teorias que, baseadas em novas hipóteses, consigam replicar as previsões newtonianas que nos são familiares e sejam mais precisas nestes casos mais extremos, onde a mecânica newtoniana apresenta imprecisões.

Apresentar o desenvolvimento histórico da Relatividade de Einstein.

O surgimento das teorias da relatividade de Albert Einstein (1879-1955) representou uma transformação na visão do cosmos. Porém, essas ideias não emergiram isoladamente; foram construídas sobre uma base de conhecimento estabelecida por outros cientistas, como James Clerk Maxwell e sua teoria eletromagnética e até mesmo precursoras na obra de Henri Poincaré sobre a relatividade,

Por volta de 1917, Einstein tentou aplicar suas teorias para desenvolver um modelo cosmológico. Ele introduziu a ideia de um universo com espaço curvo, rompendo com a concepção tradicional de um espaço plano e rígido. Sua abordagem remodelou a compreensão da gravidade, substituindo a noção de força gravitacional de Newton pela deformação do espaço pela presença de matéria.

Para Einstein, o universo era estático, sendo influenciado pelo "princípio de Mach", defendido por Ernst Mach, que relacionava a inércia de um corpo à interação com toda a massa do universo. Segundo Mach, se o universo possuísse apenas um corpo massivo ele não teria inércia, já que não teria com quem interagir, ou seja, — o universo deveria ser determinado pelo seu conteúdo. Essa ideia teve um papel significativo na busca de Einstein por um **universo estático e homogêneo**.

As soluções da Teoria da Relatividade Geral apontavam para diferentes possibilidades, como um universo em expansão ou contração, desafiando a visão estática de Einstein. A presença da força gravitacional indicava que corpos celestes não deveriam se manter estáticos, mas sim se atrair mutuamente, do contrário, ocorreria um colapso gravitacional, como já era previsto no modelo de Newton.

Para preservar sua visão estática do universo, Einstein introduziu a "constante cosmológica", um termo adicionado às equações para contrabalançar a atração gravitacional, buscando manter um cosmos estático. No entanto, mais tarde, ele considerou esse termo como um equívoco em sua trajetória científica.

Apresentar os modelos cosmológicos condizentes com a Relatividade Geral.

Outros físicos e matemáticos exploraram modelos cosmológicos que fossem condizentes com a Teoria da Relatividade Geral. Alexander Friedmann (1888-1925) pressupunha que o universo era homogêneo, mas não necessariamente estático. Segundo Friedmann, o que definiria a situação do universo seria sua densidade. Dessa forma, ele poderia ser estático, estar em expansão ou em contração. Willem de Sitter (1872-1934) propôs um universo em expansão e sem matéria.

Nesta aula abordamos modelos que explicam a dinâmica do nosso Universo, como a Gravitação Universal e a Teoria da Relatividade Geral, e as implicações cosmológicas que eles trazem (como um universo infinito na concepção newtoniana, ou um universo com diferentes comportamentos a depender de sua densidade, como propôs Friedmann). Mas ainda

não discutimos como o Universo chegou nesta constituição? Será que ele foi sempre desse jeito ou foi se formando até chegar nesta constituição?

Instrumento de Avaliação

Atividade 3
<p>O professor pode disponibilizar um tempo para que os alunos respondam as perguntas, e então permitir que os alunos socializem suas respostas, a fim de discutir suas concepções.</p> <hr/> <p>A. Segundo Newton, o que mantém os corpos "conectados" e exercendo os movimentos que conhecemos?</p> <p>B. A proposição de Einstein para a interação dos corpos no Universo é igual à de Newton? Como ele explica esta interação?</p> <p>C. Os dois cientistas compartilham a mesma ideia de universo? Justifique sua resposta.</p> <p>D. Quais são as limitações apresentadas aos modelos cosmológicos destes cientistas?</p>

INTENCIONALIDADE

Nesta aula, dependendo da intencionalidade do professor, pode-se aprofundar o estudo da Gravitação Universal ou da Teoria da Relatividade Geral. Neste caso, estamos mais interessados apenas em explorar o caráter atrativo que as teorias trazem para explicar a dinâmica dos corpos no espaço.

Momento 4
A Origem do Universo
Objetivo
<p>Objetivos de Ensino</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apresentar a origem do Universo segundo a teoria do Modelo Padrão e a teoria do Estado Estacionário, enfatizando os caminhos pelos quais a ciência se desenvolve, dentre eles as controvérsias da ciência. <p>Objetivos de Aprendizagem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reconhecer as principais ideias e divergências do Big Bang e do Estado Estacionário • Reconhecer o caráter coletivo da ciência
Avaliação
Como método avaliativo, consideramos as respostas da Atividade 4.

Aula
1
Estratégia Didática
Aula Expositiva
Conteúdos de ensino
<ul style="list-style-type: none"> • Lei de Hubble • O Modelo Padrão (Big Bang) • O Modelo do Estado Estacionário
Recursos Didáticos
É interessante que o professor considere montar uma apresentação de slides, ou faça um organograma no quadro/lousa para evidenciar os tópicos, tendo como referência a descrição da atividade abaixo.

Descrição do Momento 4

O professor deve relembrar a discussão da aula anterior, onde foram vistos modelos que visavam explicar a dinâmica do Universo, os quais tinham diferentes concepções de gravidade e possuíam consequências. Com isso, é interessante fazer um paralelo com alguns dos modelos cosmológicos clássicos onde, parte dos pensadores elaboraram estes modelos apenas pensando em como representar os movimentos, mas sem se importar com a causa destes.

Em contrapartida, quando vamos para o contexto dos modelos da dinâmica do universo, os modelos cosmológicos que aparecem são consequência dessas leis físicas, se adequando de certa forma à representação criada. Vemos isso com o “universo infinito” de Newton, ou os diferentes comportamentos que o universo poderia ter como argumentado por Friedmann.

Diante disso, encerramos a aula com o seguinte questionamento: Como o universo veio a ter esse comportamento? Qual a origem de tudo isso? Para chegar ao entendimento do modelo cosmológico comumente utilizado na comunidade científica hoje, houveram diversas contribuições.

A partir daí, seguir o desenvolvimento histórico, apresentando contribuições de Slipher, Lundmark, Stromberg e Hubble.

Vesto Slipher, por meio de observações espectroscópicas, identificou o desvio para o vermelho (redshift) em nebulosas distantes, sinalizando movimentos de afastamento.

O trabalho de Knut Lundmark adicionou peças cruciais ao mapear o redshift em galáxias espirais, contribuindo para a compreensão da expansão em diferentes regiões do cosmos. Gustav Stromberg, expandindo essas observações, percebeu padrões de redshift variáveis, evidenciando a complexidade das velocidades de recessão galáctica.

Edwin Hubble, conseguiu estender as medidas já realizadas por Slipher para galáxias cada vez mais distantes tendo o maior telescópio da época e fazendo uso de métodos mais precisos para determinar distâncias. Hubble então conectou os pontos-chave ao propor a Lei do Redshift-Distância, a qual ficou conhecida como “Lei de Hubble”, estabelecendo uma relação linear entre a distância das galáxias e seus redshifts, confirmando a expansão do universo.

Para este momento, é interessante o professor fazer a experiência da bexiga com marcações em sua superfície, para evidenciar o distanciamento das galáxias com a expansão do Universo.

Essa lei mostra que nosso universo está em expansão. Isto é, no futuro ele será maior e no passado foi menor do que ele é hoje. Quanto mais no passado, menor. Até que poderíamos imaginar a bexiga tão pequena que se reduziria a um ponto.

Apresentar as contribuições de Lemaitre

Entre os muitos cientistas que defendiam um modelo de universo que estava se expandindo, estava o padre belga George Lemaitre. Lemaitre publicou um modelo em 1927, que foi apoiado Eddington, o qual era um modelo que tratava de um universo em expansão que sempre existiu.

Considerava-se que o universo havia começado estático, porém, com o tempo começou a evoluir lentamente e a expansão começou a tornar-se mais rápida. Porém, em 1931, Lemaitre traz uma proposta conhecida como “modelo do átomo primordial”, ele propôs um nascimento repentino para o universo.

Para isso ele parte da ideia de que se o universo se expande à medida que o tempo passa, no passado ele era menor e mais denso do que é hoje, ou seja, em algum momento toda matéria que compõe nosso universo estaria concentrada em uma espécie de mega átomo primordial, que se fragmentou em partes menores, dando origem a tudo que conhecemos hoje.

Porém, até a década de 1950, este modelo não chamou muita atenção da comunidade científica, que preferia o modelo anterior de Lemaitre-Eddington.

Percebe-se que a partir da década de 1930, os modelos de universo em expansão eram os mais aceitos na comunidade científica. Surge então, no final da década de 1940, duas novas teorias cosmológicas: A teoria do Big Bang e a teoria do Estado Estacionário.

Apresentar o desenvolvimento da teoria do Big Bang e suas ideias

George Gamow em 1946 aproxima a física nuclear da cosmologia, propondo que inicialmente o universo era quente e denso, e por isso colapsa iniciando um processo de expansão do espaço-tempo, dando origem a todos os elementos químicos e as grandes estruturas que hoje conhecemos. Esse modelo ficou conhecido como Big Bang.

Segundo Gamow, o universo primordial era extremamente quente e denso, onde toda a massa e energia existentes estavam comprimidas. Nesse estágio, matéria e radiação não se distinguem, e o universo era preenchido por uma intensa luz que se espalhava em todas as direções. Nessas condições iniciais, a formação de átomos era impossível, pois a energia da luz interferia ao tentar se formar.

Com o tempo, o universo começou a esfriar à medida que se expandia, tornando-se gradualmente mais vazio. Apenas milhares de anos depois, quando os fótons perderam energia suficiente, foi possível a formação dos primeiros átomos. Os teóricos do Big Bang estimaram que o universo atual deveria ter uma temperatura próxima de 3 Kelvin, considerando seu resfriamento ao longo da expansão.

O modelo de Gamow tinha muitos aspectos comuns ao modelo do átomo primordial de Lemaitre: um universo primordial muito pequeno, quente e denso, que passou a se expandir e esfriar. No instante inicial o volume seria nulo, o que caracteriza a chamada singularidade inicial: toda a matéria existente estava concentrada em um ponto, cuja densidade é infinita.

A visão diferente que Gamow propôs em relação a ideia do átomo primordial de Lemaitre, é que, em vez de uma fragmentação, as partículas subatômicas dispersas no universo muito pequeno se uniram por fusão, formando núcleos atômicos e, posteriormente, elementos químicos. Esses elementos dariam origem às estrelas, galáxias e demais estruturas cósmicas conforme o universo se expandiu e evoluiu.

Tanto o modelo de Lemaitre quanto o de Gamow precisavam enfrentar alguns desafios, que ocuparam os astrônomos e cosmólogos nessa época, dentre eles o chamado

problema da idade do universo (Kragh 1996, p. 108; Martins, R. 1994, pp. 161-162 apud Henrique, 2011, p.85).

O conceito de um universo em expansão sugere que no passado todas as galáxias estavam próximas, constituindo um universo pequeno, quente e denso que começou a se expandir. A velocidade de expansão atual permite estimar a idade do universo usando a equação de Hubble. No entanto, as estimativas iniciais da idade do universo, cerca de 2 bilhões de anos, eram problemáticas, pois contradiziam a idade conhecida de componentes como a Terra, que se pensava ter pelo menos 4 bilhões de anos.

Esta discrepância levou a propostas alternativas, incluindo a constante cosmológica de Einstein, que sugeria uma força repulsiva entre galáxias, alterando as estimativas da idade do universo e tentando resolver o "problema da idade do universo". George Gamow, em 1952, discutiu essas alternativas, questionando como um universo com menos de 2 bilhões de anos poderia conter rochas com 3 bilhões de anos.

Apresentar o desenvolvimento do Modelo do Estado Estacionário e suas ideias

No início da década de 1950, enquanto a teoria do Big Bang de Gamow ainda não havia se consolidado, surgiu uma teoria rival conhecida como "**Estado Estacionário**", proposta por Hermann Bondi, Thomas Gold e Fred Hoyle em Cambridge, na Inglaterra. O trio de Cambridge concordava com a expansão do universo, mas questionava a ideia de um início definido no tempo, como proposto por Lemaitre, e as dificuldades da teoria do Big Bang em explicar a formação das galáxias e a idade do universo.

Hoyle, em suas palestras na BBC e no livro "The Nature of the Universe", popularizou o termo "Big Bang", criticando a ideia de um universo que começou com uma grande explosão. Ele e seus colegas acreditavam que o universo não deveria ter um início abrupto, defendendo uma criação contínua e perpétua de nova matéria, o que eliminaria a necessidade de explicar a formação das galáxias por uma explosão inicial.

A teoria do Estado Estacionário também discorda da concepção da formação das galáxias pela contração gravitacional da matéria dispersa, um problema que, segundo eles, não existia em sua teoria, pois o universo sempre existiu e teve tempo para a formação gradual das galáxias.

A teoria defendida por Bondi, Gold e Hoyle, teve seus momentos de sucesso e desafios. No debate sobre o efeito Stebbins-Whitford, os defensores da teoria saíram-se bem ao criticar a interpretação dos dados, mostrando que as medidas eram inconclusivas para

refutar sua teoria. Além disso, a resolução parcial do "problema da idade do universo" também favoreceu essa teoria, pois ela apresentava contradições para a teoria do Big Bang, resolvendo parte das discrepâncias.

Apresentar as descobertas acerca da Radiação Cósmica de Fundo

No final dos anos 1940, George Gamow propôs que a explosão inicial do universo poderia deixar resquícios observáveis na forma de radiação. Ele calculou que essa luz, inicialmente quente, hoje poderia ser detectada como radiação de microondas, com uma temperatura próxima a 5 Kelvin. Em 1965, Arno Penzias e Robert Wilson, ao procurar a fonte de um ruído eletromagnético, descobriram essa radiação vinda de todas as direções, confirmando-a com uma temperatura muito próxima da prevista, cerca de 2,7 Kelvin. Isso fortaleceu a teoria do Big Bang, levando Penzias e Wilson a receberem o Prêmio Nobel de Física em 1978.

A descoberta da Radiação Cósmica de Fundo trouxe à tona a compreensão do universo primordial. A temperatura da RCF foi estimada por físicos como Gamow e seus colaboradores, mas também por outros cientistas em décadas anteriores, gerando previsões mais próximas ao valor experimental medido por Penzias e Wilson do que as estimativas da teoria do Big Bang na época.

No entanto, com medições mais precisas feitas por satélites espaciais, as previsões da teoria do Big Bang se mostraram mais alinhadas com os dados observacionais, consolidando-a como uma explicação capaz de descrever não apenas a temperatura da RCF, mas também outras características do universo.

Apesar disso, a confirmação dos valores previstos na teoria do Big Bang pelas medidas da RCF não significa uma prova experimental absoluta. A cosmologia continua a explorar diferentes teorias alternativas com interpretações diversas das evidências observacionais, como os redshifts das galáxias e a RCF, mantendo um cenário científico diversificado e em constante evolução.

Instrumento de Avaliação

Atividade 4

Nesta atividade, o professor pode utilizar das questões orientadoras para promover um debate com os alunos, a fim de identificar o que eles conseguiram entender acerca dos modelos e suas concepções acerca da ciência.

A. Como o Big Bang e o Estado Estacionário explicam a origem e a evolução do universo? Quais são as principais divergências entre essas teorias?

--

B. O que ou quais evidências favoreceram a aceitação do Big Bang?

--

C. Considerando os episódios históricos, como se dá a contribuição para o entendimento acerca da origem do Universo? Podemos considerar que houve um desenvolvimento a partir da contribuição de um cientista em especial ou uma construção de vários cientistas ?

--

Momento 5		
O Setor Escuro do Universo		
Objetivo		
<p>Objetivos de Ensino</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apresentar as hipóteses da Matéria Escura e da Energia Escura como possíveis soluções para as limitações dos modelos vistos anteriormente <p>Objetivos de Aprendizagem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver argumentações escritas que sustentam a existência da matéria escura e energia escura no Universo 		
Avaliação		
Como método avaliativo, consideramos as respostas das Atividades 5 e 6.		
Aula	Estratégia Didática	Conteúdos de ensino
1	Aula Expositiva	Matéria Escura
2	Aula Expositiva	Energia Escura
Recursos Didáticos		
É interessante que o professor considere montar uma apresentação de slides, ou faça um organograma no quadro/lousa para evidenciar os tópicos, tendo como referência a descrição da atividade abaixo.		

Descrição do Momento 5

O professor pode fazer um resumo do que foi visto ao longo da sequência, falando sobre uma das questões da cosmologia contemporânea, se tratando da coesão entre a massa visível e os movimentos das galáxias.

Nessas últimas aulas, vimos alguns marcos do desenvolvimento da Cosmologia ao longo da história. Identificamos diferentes caminhos na proposição de modelos, verificando que um modelo tenta representar e explicar um fenômeno, mas que por muitas vezes tem limitações. Percebemos que a ciência é uma construção coletiva de uma comunidade composta por cientistas que possuem diferentes crenças e percepções.

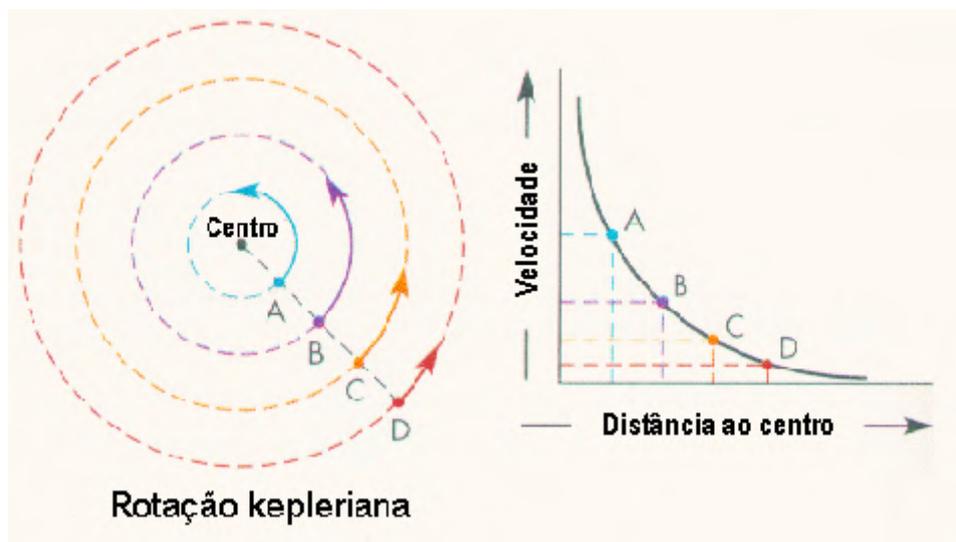
Na última aula vimos o que chamamos de modelo padrão adotado hoje, a teoria do Big Bang. Apesar de ser a mais aceita na comunidade, esta teoria é um modelo, e também tem suas limitações. Hoje, a comunidade científica enfrenta problemas para explicar o comportamento e a coerência de alguns elementos do nosso universo, mais especificamente, a massa do universo.

Citamos na terceira aula que a Mecânica Newtoniana consegue fazer boas previsões no interior de uma galáxia, estando de acordo com as Leis de Kepler. Se verificarmos a curva de rotação dos planetas, que é a relação entre a velocidade e o raio da órbita do planeta no sistema solar, ou até mesmo a curva de rotação entre Júpiter e suas luas, é possível verificar um acordo com a previsão kepleriana. Porém, comentamos que as leis de Kepler não descrevem adequadamente a movimentação das galáxias. A seguir vamos analisar dados referentes a esses movimentos.

Começaremos a apresentar a problemática que nos leva à hipótese da matéria escura. O professor deve então apresentar os dados que mostram a concordância entre os movimentos do sistema solar e a previsão kepleriana.

Os dados referentes à distância do Sol, velocidade e período de rotação desses planetas estão listados na Tabela 4.0. A Figura 4.1 compara os dados da Tabela 4.0 com as previsões da terceira lei de Kepler, na forma da curva de rotação $v \times r$. Observamos um excelente acordo entre os dados empíricos e as previsões da lei de Kepler

Figura 4.0 - Rotação kepleriana.

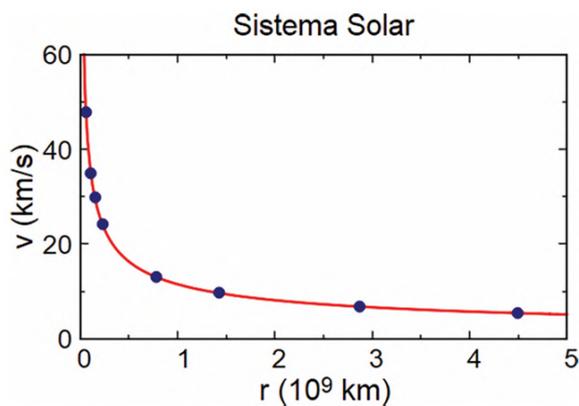


Fonte: Skolimoski (2014).

Tabela 4.0: Dados orbitais dos planetas do sistema solar.

<i>Planeta</i>	r ($10^9 km$)	v (km/s)	T (anos)
Mercúrio	0,0579	47,86	0,24
Vênus	0,1082	35,02	0,62
Terra	0,1496	29,79	1
Marte	0,2279	24,12	1,88
Júpiter	0,7783	13,06	11,86
Saturno	1,427	9,65	29,42
Urano	2,870	6,80	84,01
Netuno	4,497	5,43	164,73

Fonte: Adaptação da Tabela 1 de Ximenes e Aguiar (2023).

Figura 4.1 - Curva de rotação para o sistema solar.

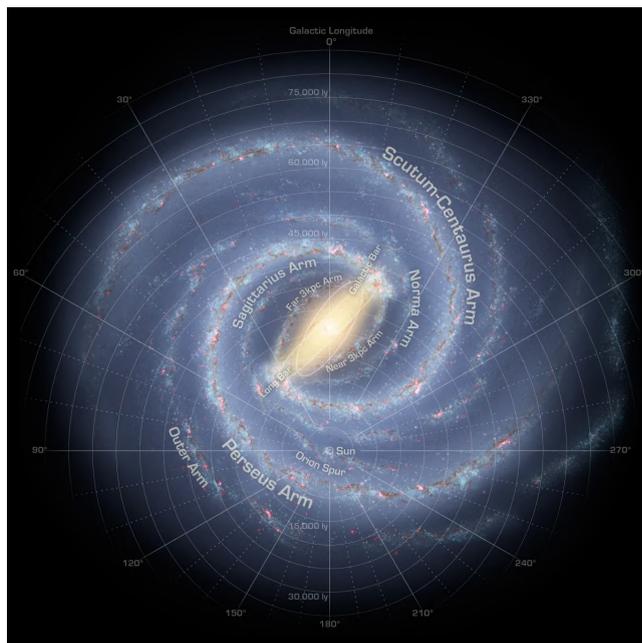
Fonte: Ximenes e Aguiar (p.4, 2023).

Pode-se questionar se essa previsão seria válida para uma escala maior. Dito isso, apresentar as galáxias.

As galáxias em nosso universo são como “ilhas de estrelas”, agrupando diversos “sóis” em seu interior. Podemos classificar estas galáxias em alguns tipos (Ximenes, 2016 p. 17):

- Galáxias espirais, que têm a aparência de discos achatados com um bojo central. O disco normalmente apresenta braços espirais. Um exemplo está mostrado na figura 4.2. As estrelas no disco descrevem órbitas praticamente circulares em torno do centro galáctico.

Figura 4.2 - Via Láctea - Galáxia Espiral



Fonte: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)

- Galáxias elípticas têm forma arredondada, sem apresentar um disco. Frequentemente são mais alongadas numa direção que nas outras. A Figura 4.3 mostra uma dessas galáxias.

Figura 4.3 - NGC 3610 - Galáxia Elíptica



Fonte: NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

- Galáxias irregulares, que não têm forma de disco nem são arredondadas. Uma galáxia irregular é apresentada na Figura 4.4

Figura 4.4 - NGC 7292 - Galáxia Irregular



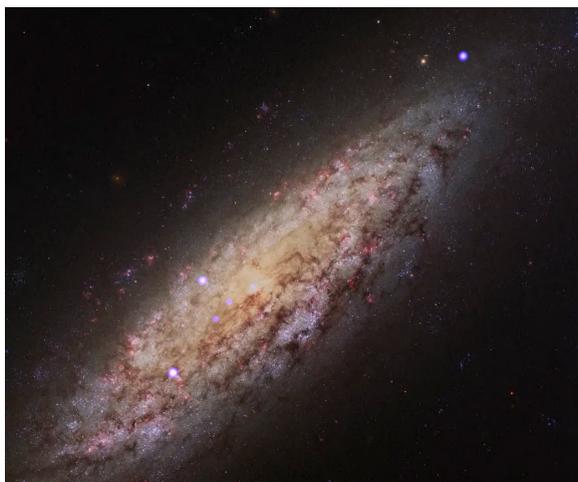
Fonte: ESA/Hubble & NASA

Apesar do termo “ilhas de estrelas” utilizado, as galáxias não são somente um monte de estrelas. Há uma mistura chamada “meio interestelar”, que inclui gás e poeira, principalmente hidrogênio. Tudo isso está girando em torno do centro da galáxia. Nas galáxias espirais, esse movimento é mais ou menos circular, e podemos pensar nele como se a parte central da galáxia, onde está quase toda a massa visível, fosse o Sol ou Júpiter, e as estrelas e gases nas bordas orbitassem essa parte central, do jeito que os planetas orbitam o Sol ou as luas orbitam Júpiter.

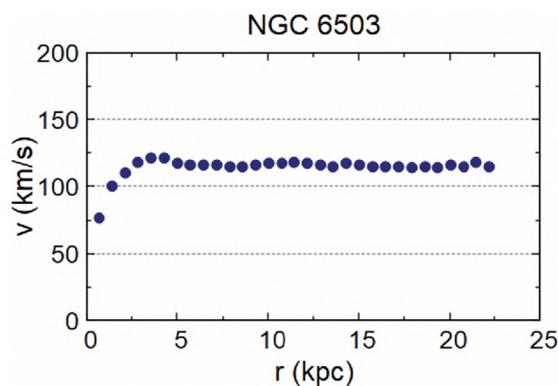
Assim, podemos pensar em aplicar a terceira lei de Kepler nas bordas das galáxias, aguardando por um resultado semelhante ao do Sistema Solar, considerando que a Gravitação Universal explica o comportamento e a razão das órbitas.

Porém, quando verificamos a representação gráfica acerca da curva de rotação das galáxias, notamos um comportamento distinto do previsto.

Mostrar a curva de rotação da galáxia NGC 6503.

Figura 4.5 - Galáxia NGC 6503

Fonte: X-ray: NASA/CXC/Washington State
Univ./V. Baldassare et al.; Optical:
NASA/ESA/STScI

Figura 4.6 - Curva de rotação NGC 6503

Fonte: Ximenes e Aguiar (p.4, 2023)

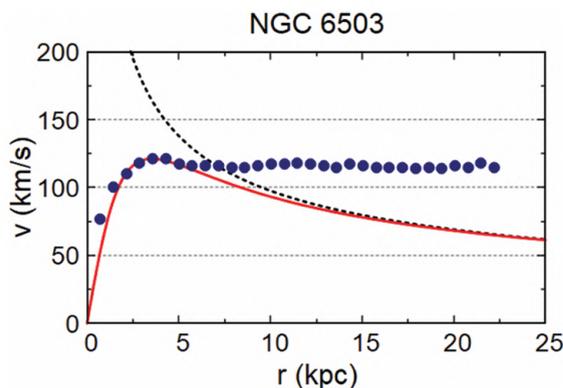
É visível na Figura 4.6 que as curvas de rotação apresentam comportamento muito distinto daquele previsto pela terceira lei de Kepler. Duas diferenças podem ser ressaltadas:

1. Próximo ao centro da galáxia, a velocidade orbital aumenta com a distância.
2. Para distâncias maiores, muito além da região visível, a velocidade permanece praticamente constante.

Na Figura 4.7, observamos os pontos que representam a rotação da galáxia NGC 6503 em diferentes distâncias do seu centro. Estes pontos são comparados com duas previsões diferentes: a linha pontilhada, representando a previsão kepleriana, que é uma estimativa baseada nas leis de Newton para a dinâmica das órbitas planetárias no Sistema Solar; e a linha contínua vermelha, representando o modelo de Kuzmin, que é um tipo específico de modelo matemático usado para descrever como a massa está distribuída dentro de uma galáxia espiral.

A diferença essencial entre esses modelos está na forma como consideram a distribuição de massa. O modelo de Kuzmin leva em conta uma galáxia com formato de disco achatado e densidade não uniforme. Enquanto isso, a previsão kepleriana assume um sistema mais simples, baseado nas órbitas planetárias do Sistema Solar, onde a massa está centralizada em um único ponto.

Figura 4.7 - Comparação com o modelo de Kuzmin e o limite kepleriano.



Fonte: Ximenes e Aguiar (p.6, 2023)

Quando observamos os resultados apresentados na Figura 4.7 vemos que há uma boa concordância entre o cálculo pelo modelo de Kuzmin e os dados na região central da galáxia. Contudo, ao analisarmos a região mais afastada do centro, notamos uma diminuição na velocidade prevista pela terceira lei de Kepler (e pelo modelo de Kuzmin), o que contrasta fortemente com o valor quase constante apresentado pelos dados.

Discrepâncias desse tipo não são encontradas apenas na NGC 6503; muitas outras galáxias espirais apresentam curvas de rotação com características semelhantes.

É interessante sintetizar essas informações, deixando claro a análise feita.

Em resumo, vimos que o movimento dos planetas orbitando o Sol, ou das luas orbitando Júpiter atendem bem às previsões das leis físicas de Kepler e Newton. Porém, quando vamos para o contexto de uma galáxia, onde há estrelas e todo um meio-interestelar orbitando essa galáxia, percebemos um comportamento distinto da previsão: As previsões afirmam que a velocidade dos corpos deveria diminuir com o aumento do raio da órbita, todavia, pelas medidas feitas, vemos que essa velocidade fica praticamente constante. Mas se a maior parte da massa significativa está no centro da galáxia, como podemos explicar essa velocidade constante em suas partes periféricas?

Com isso, pode-se iniciar uma discussão para investigar possíveis propostas dos alunos, e então, falar sobre a hipótese da matéria escura.

Se a concentração de massa estiver localizada em sua maioria no centro da galáxia, o comportamento deveria ser semelhante ao do Sistema Solar, correto? Desta maneira, podemos pensar em duas hipóteses:

- 1 - O conceito de gravidade, tanto de Newton quanto o de Einstein, está incorreto;
- 2 - A distribuição de massa nas galáxias não é exatamente como aparenta ser.

Entre estas possíveis hipóteses, quais devemos escolher para justificar o movimento das galáxias?

Para isso é importante lembrar que a gravitação nos permite explicar vários fenômenos da Física, e considerá-la inadequada implica em ressignificar ela e muitos outros conceitos e explicações. Desta forma, a segunda hipótese tende a ganhar força. Dessa forma, pode-se falar sobre a hipótese da matéria escura.

Pensando na segunda hipótese como mais viável, Souza e Teixeira (2022, p.2-6), compartilham os conhecimentos debatidos por vários estudiosos que consideram que deve existir muito mais matéria nas galáxias do que aquela que podemos enxergar a partir da radiação total produzida pelas estrelas e pelo gás existentes nessas galáxias: essa é a denominada **matéria escura**. O fato de receber este nome é por sua natureza desconhecida. Essa matéria escura está distribuída em 'halos' que envolvem e permeiam as galáxias.

Figura 4.8 - Halo de matéria escura.



Fonte: Ximenes e Aguiar (p.7, 2023)

Os autores com base em observações em diferentes escalas astronômicas e cosmológicas, elenca as seguintes características da matéria escura: ela é eletricamente neutra,

não relativística e estável em escalas cosmológicas. Além disso, ela é não bariônica, ou seja, não é composta por prótons e nêutrons e, portanto, é diferente da matéria que compõe os elementos da tabela periódica.

Souza e Teixeira (2022, p.3) informam que a matéria escura se encontra em todos os sistemas confinados gravitacionalmente, desde as pequenas galáxias até os aglomerados de galáxias. Ela funciona como um poço de potencial gravitacional para a formação destas que são as estruturas cósmicas de nosso universo. Uma das principais evidências da existência de matéria escura no universo envolve dados sobre as curvas de rotação de estrelas nas bordas das galáxias espirais, como vimos anteriormente.

Os autores revelam que os primeiros indícios sobre a matéria escura surgiram na primeira metade do século XX. A maioria das galáxias se agrupa em conjuntos conhecidos como aglomerados. O aglomerado de Coma, por exemplo, é um conjunto com mais de mil galáxias e possui cerca de 20 milhões de anos-luz de diâmetro. Ele está localizado a aproximadamente 320 milhões de anos-luz da Terra, contando com duas galáxias elípticas enormes no seu centro, chamadas NGC 4874 e NGC 4889.

“Na década de 1930, o astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898-1974) mediu a massa do aglomerado de galáxias de Coma e verificou em seus cálculos que esse valor era 400 vezes maior do que a soma das massas visíveis das suas galáxias; nas palavras do próprio Zwicky, a densidade do aglomerado de Coma, obtida a partir dos seus efeitos gravitacionais, 'teria que ser 400 vezes maior do que o valor derivado das observações da matéria luminosa'.”
(TEIXEIRA e SOUZA, 2022, p.3)

Os autores trazem que, a variação considerável nas velocidades aparentes das galáxias no aglomerado de Coma, excedendo 2.000 km/s, sugere a presença de uma quantidade significativa de massa além daquela atribuída às estrelas visíveis. Esta discrepância aponta para a existência de uma substância não observável, a matéria escura, que desempenha um papel crucial na coesão do aglomerado. Posteriormente, o astrônomo Sinclair Smith (1899-1938) corroborou esses resultados ao investigar o aglomerado de Virgo.

Assim, temos uma explicação para os dados apresentados na Figura 4.7. A existência de uma entidade chamada matéria escura, a qual interage apenas por meio da gravidade, se distribui pela galáxia de maneira que a massa da galáxia aumenta proporcionalmente à distância do centro, mantendo a curva de rotação estável de acordo com os princípios físicos.

Podemos então, introduzir a questão acerca da desaceleração da expansão do universo, para chegarmos à hipótese da Energia Escura.

Porém, surge uma nova questão: Se há mais matéria do que nós imaginamos, e esta matéria desconhecida interage gravitacionalmente, então a expansão do universo deve estar desacelerada, correto? Não é o que se verifica e surge a necessidade de considerarmos um novo conceito.

Como visto anteriormente, a Matéria Escura é uma das grandes questões da cosmologia moderna, pois não se sabe sua natureza, apenas encontramos vestígios dela e teorizam que ela é responsável por uma parcela significativa de toda a massa do nosso universo. Entretanto, ainda resta o questionamento acerca da expansão do universo. Vimos que cientistas identificaram evidências da expansão do universo. Mas com a presença dessa matéria desconhecida, a dinâmica deveria mudar, essa expansão deveria ser freada, correto?

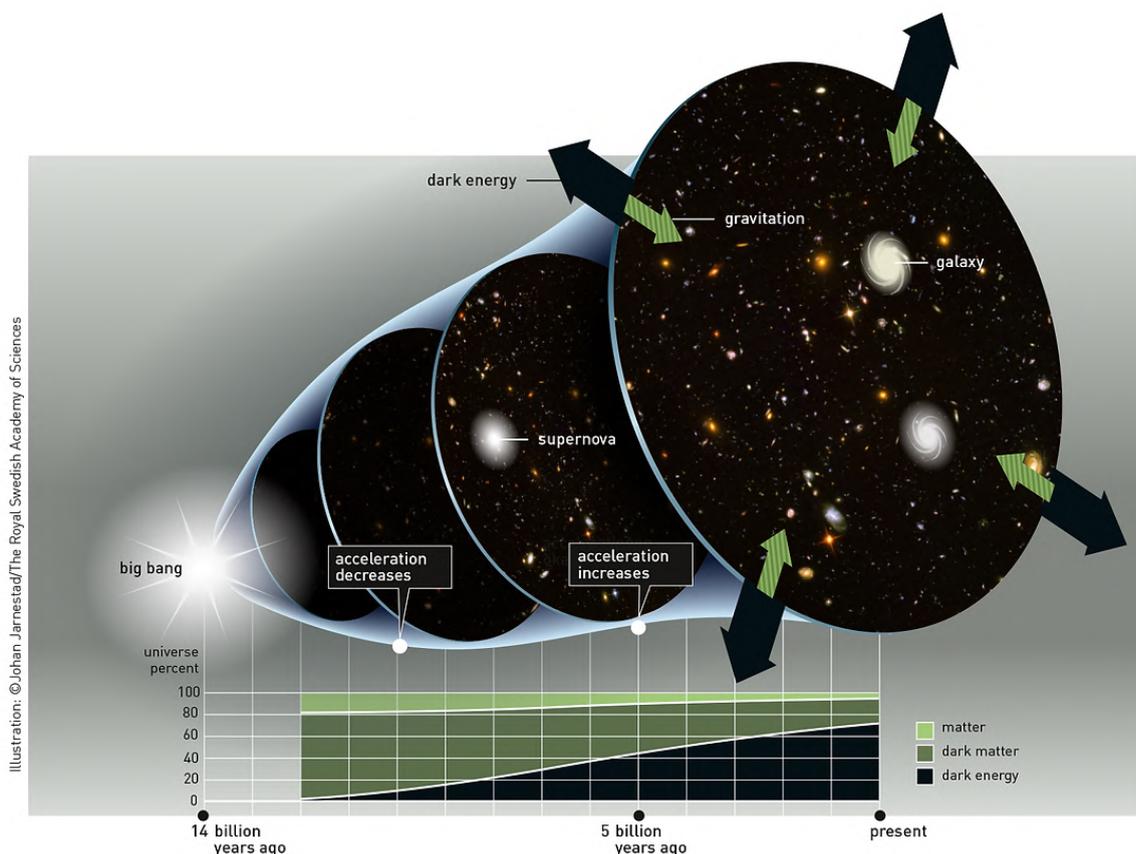
De acordo com o compilado “The Accelerating Universe” (KVA, 2011), quando falamos sobre a expansão do Universo, identificamos que a taxa de expansão depende do seu conteúdo energético – então em um Universo contendo apenas matéria, sua expansão eventualmente deveria diminuir devido à atração gravitacional. Entretanto, no final da década de 1990, observações de explosões de Supernovas do tipo Ia (SNe) a distâncias de aproximadamente 6 bilhões de anos-luz, feitas por dois grupos de pesquisa independentes liderados respectivamente por Saul Perlmutter e por Brian Schmidt e Adam Riess, mostram que atualmente a taxa de expansão está acelerando.

Souza e Teixeira (2022, p.8) detalham essas observações: Estes eventos (explosões de supernovas) apresentavam uma intensidade luminosa abaixo daquela que seria esperada se o universo estivesse em expansão desacelerada, como se deduzia até então que ocorresse, devido à atração gravitacional entre os objetos que existem no universo. As supernovas, possuem classificações com base em seu espectro óptico: As Supernovas do tipo Ia (SN Ia) são as mais luminosas e homogêneas e podem ser usadas como “velas padrão” (“standard candles”) para a determinação de distâncias extragalácticas.

Desta forma, Souza e Teixeira (2022, p.8) indicam que, como solução para este problema, foi proposta a ideia de que o universo está passando por uma fase de expansão acelerada devido à existência de uma nova componente cósmica, a chamada energia escura: O efeito resultante disto era que estas supernovas estariam mais distantes do observador do que se imaginava anteriormente, o que esclarece o fato de seu brilho ser menor. Souza e Teixeira (2022, p.8) ainda citam que, para explicar essa aceleração da expansão do universo, a

energia escura deveria ter propriedades antigravitacionais, ou seja, deveria ser repulsiva e não atrativa, como ocorre com a força de atração gravitacional atuando entre corpos constituídos de matéria convencional.

Figura 4.9 - A expansão do Universo



Fonte: Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences (2011).

Instrumento de Avaliação

Atividade 5

A

Figura 4.10 feita pelo telescópio espacial Hubble da NASA mostra a distribuição de matéria escura no centro do gigantesco aglomerado de galáxias Abell 1689, contendo cerca de 1.000 galáxias e trilhões de estrelas.

Apesar do Hubble não poder ver a matéria escura diretamente, astrônomos inferiram a sua localização analisando o efeito da lente gravitacional, onde a luz de galáxias atrás de Abell 1689 é distorcida pela matéria que está no caminho da luz dentro do aglomerado.

Pesquisadores usaram as posições observadas de 135 imagens de lente de 42 galáxias de fundo para calcular a localização e quantidade de matéria escura no aglomerado. Eles sobrepuseram um mapa dessas concentrações inferidas de matéria escura, tingido de azul, em uma imagem do aglomerado capturada pela Câmera Avançada para Pesquisas do

Hubble. Se a gravidade do aglomerado viesse apenas das galáxias visíveis, as distorções causadas pela lente seriam muito mais fracas. O mapa revela que a concentração mais densa de matéria escura está no núcleo do aglomerado.

Figura 4.10 - Mapeamento de Matéria Escura feito pelo telescópio Hubble



Fonte: NASA, ESA, D. Coe, N. Benitez, T. Broadhurst, and H. Ford

A. Como é a velocidade de rotação nas bordas das galáxias, conforme aumentamos a distância?

B. O resultado apresentado no item anterior era esperado, considerando as teorias gravitacionais? Justifique.

C. Como poderemos explicar esse comportamento nas bordas da galáxia, apresentado no item A?

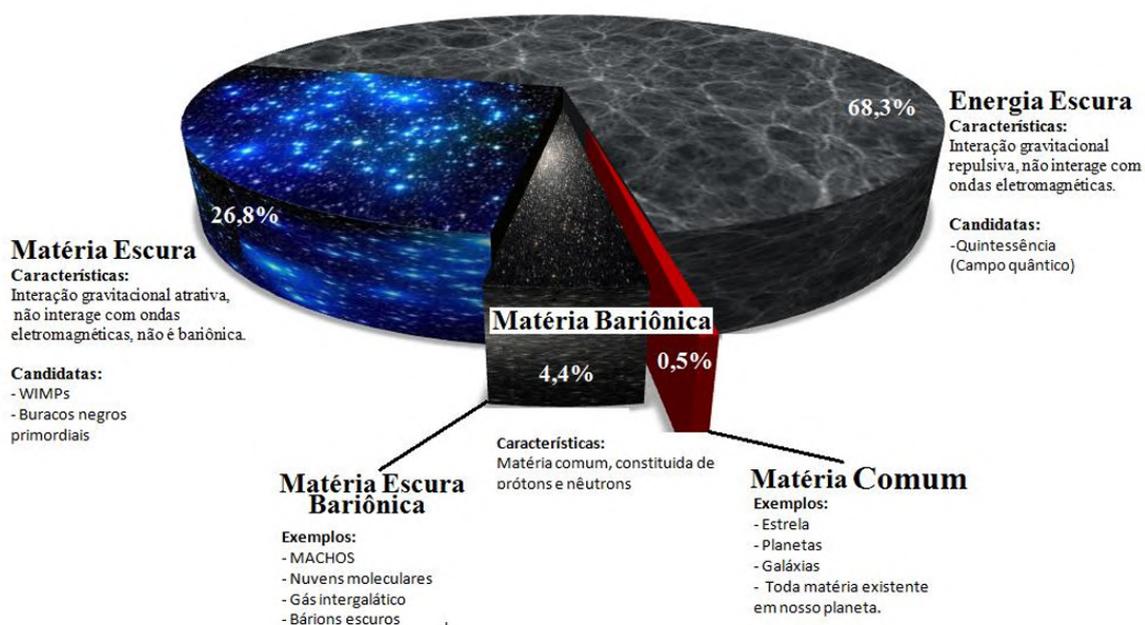
D. Poderíamos considerar outra explicação para o resultado apresentado no item ?

E. Considerando todas as respostas dadas nos itens acima, apresente um texto que defende a existência da matéria escura, apresentando sustentações para sua defesa.

Atividade 6

Medidas mais recentes (do ano de 2006) mostram que a matéria normal corresponde a 4%, a matéria escura a 22%, e a energia escura a 74% de toda a massa-energia do universo. Como apenas conhecemos a matéria comum, desconhecemos totalmente a natureza de 96% do universo. Em outras palavras, o que conhecemos corresponde à ponta do *iceberg* apenas (STEINER, 2006, p.245).

Figura 4.11: Componentes do universo, características, candidatas e exemplos.



Fonte: Skolimoski (2014).

A. Ao serem realizadas observações de supernovas distantes, qual foi a constatação para comportamento do Universo, ele está estático, em contração ou em expansão, parado, acelerado ou desacelerado?

B. As previsões das teorias gravitacionais explicam adequadamente esse fenômeno? Explique.

C. Como é possível explicar o comportamento descrito no item A? Poderíamos considerar outras explicações?

D. Considerando todas as respostas dadas nos itens acima, apresente um texto que defende a existência da energia escura, apresentando sustentações para sua defesa.

INTENCIONALIDADE

Se for do interesse do professor, ele pode optar por diferentes tipos de abordagem da atividade relacionada à matéria escura: Pode-se seguir como consta na atividade original, onde há deduções e cálculos das equações; ou ele pode apresentar de uma maneira conceitual, como propusemos.

Nesta SEA, abordamos apenas as evidências relacionadas à curva de rotação das galáxias, todavia, as referências utilizadas para construção da SEA possuem discussões sobre Lentes Gravitacionais e uma modificação da mecânica newtoniana.

Para mais detalhes sobre essa atividade, conferir os materiais de Ximenes e Aguiar (2023) e Ximenes (2016).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como destacado no trabalho de Soler e Leite (2012), reconhecemos a potencialidade da temática escolhida como caminho para discutir aspectos sobre a Natureza da Ciência. Assim como, em acordo com os apontamentos de Henrique (2011) identificamos como os episódios históricos são favoráveis para estas discussões.

Durante a construção da proposta percebemos a eficácia da metodologia utilizada. Primeiramente, a orientação fornecida no PraCESE acerca da elaboração do argumento padrão como meta final da proposta se mostrou fundamental na determinação do sequenciamento dos conteúdos. As orientações de evidenciarmos as dimensões epistemológicas e pedagógicas, são de grande valia para a elaboração da proposta e reconhecemos sua relevância para o possível desenvolvimento da proposta. Desenvolvimento que poderá ser realizado por integrantes do PraCESE em trabalhos futuros com a finalidade de avaliar e validar a proposta apresentada.

Por fim, é crucial ressaltar a significância deste trabalho para meu desenvolvimento como futuro docente, especialmente no campo dos estudos formativos em Cosmologia. Esta pesquisa ampliou meu domínio sobre o conteúdo, preparando-me para aplicá-lo de maneira efetiva em uma futura sala de aula. Além disso, proporcionou-me uma maior familiaridade com a metodologia de planejamento da SEA, em uma abordagem que possibilita o educador adotar a postura de um professor-pesquisador, fundamentando suas aulas em um conjunto de estratégias adaptáveis e pertinentes ao contexto em questão.

REFERÊNCIAS

BAILEY, J. M.; SANCHEZ, R.; COBLE, K.; LARRIEU, D.; COCHRAN, G. L.; COMINSKY, L. **A Multi-Institutional Investigation of Students' Preinstructional Ideas about Cosmology**. *Astronomy Education Review*, v. 11, n. 1, p. 010302-1-010302-21, dez. 2012.

BARBOSA, C. de M. Deodato; LEITE, C. **Cosmologia na Educação Básica: Construindo Justificativas**. *Revista De Enseñanza De La Física*, v. 31, p. 29–37, 2019. Disponível em: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/26523>. Acesso em: 07 dez. 2023.

BEGO, A. M. **A implementação de unidades didáticas multiestratégicas na formação inicial de professores de Química**. *Coleção Textos FCC (Online)*, v.50, p. 55-72, 2016

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, 2018.

BRASIL. PCN+ Ensino Médio: orientações curriculares complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

CAMENIETZKI, C. Z. **A Cruz e a Luneta: Ciência e religião na europa moderna**. 1 ed. Rio de Janeiro. ACCESS, 2000.

COBLE, K. et al. **Investigating Student Ideas about Cosmology I: Distances and Structure**. *Astronomy Education Review*, v. 12, n. 1, dez. 2013. DOI: 10.3847/AER2012038.

DOS SANTOS, R. P. **História da ciência e perfil conceitual como ferramentas para o ensino e aprendizagem de física: Os exemplos dos conceitos de Massa, Força, Luz e Energia**. ResearchGate, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/231557032_Historia_da_ciencia_e_perfil_conceitual_como_ferramentas_para_o_ensino_e_aprendizagem_de_fisica_Os_exemplos_dos_conceitos_de_Massa_Forca_Luz_e_Energia>. Acesso em: 22 nov. 2023.

HENRIQUE, A. B. **Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física,

Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/D.81.2011.tde-19072011-112602. Acesso em: 2023-12-04.

JIMENÉZ-ALEIXANDRE, M. P. **10 ideas clave Competencias en argumentación y uso de pruebas**. Graó, 2010.

KVA (2011). **The Accelerating Universe: Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2011**. Stockholm, Sweden: The Royal Swedish Academy of Sciences.

LANGHI, R. (2011). **Educação em Astronomia: da revisão bibliográfica sobre concepções alternativas à necessidade de uma ação nacional**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 28(2), 373–399. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n2p373>

PIMENTA, S. A.; CARVALHO, A. B. G. **Elementos da didática: os diferentes métodos de ensino**. Campina Grande/PB: EDUEP, 2008.

RAMIRES, G. A. N. G.; MASSONI, N. T.; MORIGGI, A. V. (2022). **Matéria Escura e Energia Escura: uma revisão da literatura sobre um dos maiores enigmas da Física e Cosmologia contemporâneas**. Textos de Apoio ao Professor de Física – IF-UFRGS, 33(1).

RUTHERFORD, F. J.; HOLTON, G.; WATSON, F. G. **The Project Physics Course: Text and Handbook. Unit 2 - Motion in the Heavens**. 1st ed. New York, Toronto: Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1970.

SALIMPOUR, S., TYTLER, R., FITZGERALD, M.T. et al. **Is the Universe Infinite? Characterising a Hierarchy of Reasoning in Student Conceptions of Cosmology Concepts Using Open-Ended Surveys**. Journal for STEM Educ Res 6, 102–129 (2023). <https://doi.org/10.1007/s41979-023-00088-8>

SASSERON, L. H. **Práticas em aula de ciências: o estabelecimento de interações discursivas no ensino por investigação**. Tese (Livre-Docência) — Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2018.

SIMÕES NETO, J. E. **Uma proposta para o perfil conceitual de energia em contextos do ensino da física e da química**. 2016. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

SKOLIMOSKI, K. N. **Cosmologia na teoria e na prática: possibilidades e limitações no ensino**. Dissertação (Mestrado em Educação) — Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, São Paulo, SP, 2014.

SILVA, E. L.; WARTHA, E. J. **Estabelecendo relações entre as dimensões pedagógica e epistemológica no Ensino de Ciências**. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 24, p. 337-354, 2018.

SOLER, D. R.; LEITE, C. **Importância e justificativas para o ensino de astronomia: um olhar para as pesquisas da área**. In: II SIMPÓSIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA, 2., 2012, São Paulo, SP. Anais... São Paulo: [s.n.], 2012. p.1-10.

SOUZA, D. C. P. de; TEIXEIRA, R. R. P. (2022). **Matéria Escura E Energia Escura Em Atividades De Divulgação Científica**. *Revista Eletrônica Debates Em Educação Científica E Tecnológica*, 11(01). <https://doi.org/10.36524/dect.v11i01.1513>. Acesso em: 22 nov. 2023.

STEINER, J. E. **A origem do universo**. *Estudos Avançados*, [S. l.], v. 20, n. 58, p. 231-248, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10192>. Acesso em: 23 fev. 2023.

TEIXEIRA, R. R. P.; SOUZA, D. C. P. **Matéria escura, energia escura e história da ciência na educação científica**. *ACTIO: Docência em Ciências*, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 1-22, mai./ago., 2022. DOI: 10.3895/actio.v7n2.14046. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/actio/article/view/14046>. Acesso em: 07 dez. 2023.

TOULMIN, S. E. **Os usos do argumento**. São Paulo: Editora Martins Fontes, 2006

XIMENES, S. J. C.; AGUIAR, C. E. **Matéria Escura no Ensino Médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 1-15, jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0334>. Acesso em: 03 dez. 2023.

XIMENES, S. J. C. **A matéria escura no ensino médio**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.