

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Acadêmico em Ensino de Física

Andressa Varriale Moriggi

**“Matéria Escura e Energia Escura” no Ensino Médio:
um tema de Física Moderna e Contemporânea epistemologicamente
efervescente**

Porto Alegre, RS
2023

Andressa Varriale Moriggi

**“Matéria Escura e Energia Escura” no Ensino Médio:
um tema de Física Moderna e Contemporânea epistemologicamente
efervescente**

Dissertação de Mestrado Acadêmico
apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Ensino de
Física pelo Programa de Pós-graduação em
Ensino de Física do Instituto de Física da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Dra. Neusa Teresinha Massoni
Coorientador: Dr. Dimiter Hadjimichef

Porto Alegre, RS

2023

FOLHA DE APROVAÇÃO
ANDRESSA VARRIALE MORIGGI

**“Matéria Escura e Energia Escura” no Ensino Médio:
um tema de Física Moderna e Contemporânea epistemologicamente
efervescente**

Dissertação de Mestrado Acadêmico
apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Ensino de
Física pelo Programa de Pós-graduação em
Ensino de Física do Instituto de Física da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Dra. Neusa Teresinha Massoni

Coorientador: Dr. Dimiter Hadjimichef

Porto Alegre, 11 de setembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Neusa Teresinha Massoni (UFRGS)
Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Maria Cecília Pereira Santarosa (UFSM)
Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dra. Alejandra Daniela Romero (UFRGS)
Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Ives Solano Araujo (UFRGS)
Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Dimiter Hadjimichef (UFRGS)
Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por estar comigo em toda esta jornada. Acredito que em toda esta caminhada nunca havia sentido tão forte o Espírito Santo comigo, pois não foi fácil. Ninguém disse que seria, Jesus diz que a jornada é longa, mas com Ele tudo é possível. Então sim, eu pude testemunhar seu agir. Foram muitos desafios pessoais e que se refletiram no profissional, o contrário também foi verdadeiro, pois todas as vezes em que surgiram obstáculos durante a pesquisa, acabavam por refletir diretamente em mim. Diversas vezes achei que não conseguiria chegar ao final, duvidei de todas as formas possíveis... mas com as pessoas certas ao meu lado, tudo foi possível.

Agradeço imensamente por esta oportunidade, em poder estudar algo que sou totalmente apaixonada, e poder compartilhar um pouco disso, ver na expressão de vários alunos que eles puderam ver também, através dos meus olhos, como é lindo e perfeitamente imperfeito este Universo, que temos a honra de habitar e viver. Foi inimaginável a emoção de receber um abraço ao final das aulas, de uma aluna, que mesmo no pouco tempo que tivemos neste estudo, foi possível, em algum nível, tornar significativa a Física.

Quando, hoje, olho para trás vejo como minha orientadora, a Dra. Neusa Massoni, me mostrou seu amor pelo ensino. Foi através dela que eu decidi que iria, sim, buscar levar às salas de aulas, com alunos fragilizados pelas desigualdades sociais, uma nova possibilidade de vida valorizando o estudo; mostrando que a ciência, muitas vezes vista como “fria e objetiva”, está sempre de portas abertas, assim como todas as áreas do conhecimento, para acolher quem queira a ela se dedicar. Muito obrigada professora, por ser este exemplo de mulher na ciência. Também agradeço ao meu coorientador, Dr. Dimiter Hadjimichef, por aceitar fazer parte deste trabalho.

Agradeço a toda a minha família. Não foram poucas as vezes que eu pensei em desistir, mas me proporcionaram todo o suporte necessário. Meus pais, meus queridos e amados pais, devo a vocês tudo, por sempre acreditarem em mim, mesmo quando nem eu acreditei mais. Por estarem sempre presentes, mesmo a distância, me ajudando a concluir esta etapa da minha vida. Imagino que os deixei com mais

fios de cabelos brancos, mas também espero que, de alguma forma, sintam orgulho, pois foi fruto de vocês.

Aos meus irmãos, que nesse período nos unimos de uma forma muito especial, nos apoiando em tantos momentos, nem que fosse só para me ouvirem reclamar. E ao meu marido. Lucas, você foi meu grande suporte. Esteve presente em todos os momentos, me ajudou e motivou, acho que essa é uma boa vantagem de sermos dois Físicos, pois a nossa troca de ideias é muito valiosa. Obrigada por ter se mostrado meu porto seguro para que pudesse superar todas as adversidades, sempre acreditou e me apoiou em tudo.

Amo vocês do fundo do meu coração, são meu tudo, meu Universo particular.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo apresentar e analisar os efeitos de uma abordagem de Ensino de Física para o Ensino Médio, baseada nas hipóteses teóricas e busca de evidências da Matéria Escura e Energia Escura. Trata-se de uma temática de Física Moderna e Contemporânea (FMC) abordada com o objetivo de reduzir a distância entre a Física apresentada aos estudantes e os avanços atuais da Física, Astronomia, Cosmologia, com foco nesses enigmas [Matéria Escura e Energia Escura]. Para isso, foi escolhido um referencial teórico-epistemológico fundamentado em ideias de Gaston Bachelard e na Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antonio Moreira. Realizamos uma revisão aprofundada da literatura, abrangendo pesquisas sobre o Ensino de Física por meio de tópicos da FMC, sobre as relações dessas estratégias com a epistemologia de Bachelard e aprendizagem significativa e crítica, bem como um mapeamento de estudos sobre a História da Matéria Escura e Energia Escura, a evolução da pesquisa nesse campo e os diversos candidatos e/ou explicações para a Matéria Escura. Assumimos uma abordagem metodológica da pesquisa qualitativa, utilizando técnicas de análise e interpretação fenomenológica dos dados coletados, seguindo as diretrizes de Creswell. O núcleo da investigação foi a criação e aplicação de uma unidade didática (UD) em uma escola pública no Estado do Paraná, em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio. Os resultados que foram possíveis de alcançar revelaram deficiências no currículo atual de Física na Educação Básica, com os alunos apresentando lacunas com relação à Matemática, o que parece incorrer à percepção de que Física é difícil, abstrata e muito associada a cálculos. No entanto, a UD implementada despertou o interesse teórico, contextual e tecnológico dos alunos; ficou evidente que uma abordagem histórico-epistemológica no Ensino de Física é importante e necessária para desenvolver a uma visão mais contemporânea da natureza da ciência; e que a abordagem de um tema atual, e em construção, da Física e Cosmologia contribui para engajar os estudantes, despertando interesse e a formação de consciência crítica e social. Como uma contribuição à área, conseguimos construir, de forma colaborativa com um aluno de Iniciação Científica, um Texto de Apoio ao professor de Física baseado nos achados da revisão de literatura, que buscou resumir pesquisas recentes sobre a Matéria

Escura e Energia Escura, e foi utilizado como texto de apoio junto aos alunos na aplicação da UD, embora tenhamos conseguido pouca adesão à leitura.

Palavras-chave: Ensino de Física; Física Moderna e Contemporânea; Epistemologia de Bachelard; Aprendizagem Significativa Crítica; Matéria Escura; Energia Escura.

ABSTRACT

This dissertation aims to present, and analyze the effects of a Physics Teaching approach for High School, based on theoretical hypotheses and the search for evidence of Dark Matter and Dark Energy. It deals with a theme from Modern and Contemporary Physics (MCP), addressed with the goal of bridging the gap between Physics presented to students and the current advances in Physics, Astronomy, and Cosmology, with a focus on these enigmas [Dark Matter and Dark Energy]. For this purpose, a theoretical-epistemological framework grounded in Gaston Bachelard's ideas and Marco Antonio Moreira's Theory of Critical Meaningful Learning was chosen. We conducted an in-depth literature review, encompassing research on Physics Teaching through MCP topics, the relationship of these strategies with Bachelard's epistemology and meaningful and critical learning, as well as a mapping of studies on the History of Dark Matter and Dark Energy, the evolution of research in this field, and the various candidates and/or explanations for Dark Matter. We adopted a qualitative research methodology, using techniques of phenomenological analysis and interpretation of the collected data, following Creswell's guidelines. The core of the investigation was the creation and application of a didactic unit (DU) in a public school in the State of Paraná, with a class of third-year High School students. The results obtained revealed deficiencies in the current Physics curriculum in Basic Education, with students showing gaps in Mathematics, which seems to contribute to the perception that Physics is difficult, abstract, and heavily associated with calculations. However, the implemented DU sparked theoretical, contextual, and technological interest among students; it became evident that a historical-epistemological approach in Physics Teaching is important and necessary to develop a more contemporary view of the nature of science; and that addressing a current and evolving topic in Physics and Cosmology contributes to engaging students, awakening their interest, and fostering critical and social awareness. As a contribution to the field, we collaboratively built, with a student from Scientific Initiation, a Support Text for Physics teachers based on the findings of the literature review, summarizing recent research on Dark Matter and Dark Energy, which was used as support material with the students during the DU implementation, although we achieved little adherence to reading.

Keywords: Physics Teaching; Modern and Contemporary Physics; Bachelard's Epistemology; Critical Meaningful Learning; Dark Matter; Dark Energy.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 Questões de Pesquisa	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICO	21
2.1 Epistemologia de Bachelard	21
2.2 Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira	28
3. REVISÃO DE LITERATURA	34
3.1 Perspectiva Histórica	34
3.2 Matéria escura	41
3.2.1 Formas de manifestação da matéria escura: as Lentes Gravitacionais	41
3.2.2 Tentativas de explicação da matéria escura	42
WIMPS (Weakly Interacting Massive Particles)	44
Experimentos e observações (detecção direta)	45
DAMA (Gran Sasso Dark Matter)	45
CDMS (Cryogenic Dark Matter Search)	46
AXIONS	46
3.3 Energia escura	47
Estudos a partir da observação de supernovas	47
4. ASPECTOS METODOLÓGICOS	50
5. DELINEAMENTO DA PESQUISA E PRÁTICA ESCOLAR	54
5.1 Caracterização da Escola	54
5.2 Contextualização da aplicação da Unidade Didática	57
5.3 Caracterização da Turma	58
5.4 Construção da Unidade Didática (UD)	58
5.5 Cronograma da Unidade Didática	61

5.6	Elaboração de Planos de Aula e Aplicação da Unidade Didática	64
5.6.1	Plano de Aula 1 - Apresentação da Teoria do Big Bang e o Endereço Cósmico da Terra	64
	Relato da Aula 1	65
5.6.2	Plano de Aula 2 - O maior erro de Einstein? A constante cosmológica	68
	Relato da Aula 2	71
5.6.3	Plano de Aula 3 - Continuação O maior erro de Einstein? E os 95%?	76
	Relato da Aula 3	82
5.6.4	Plano de Aula 4 - É o fim da Gravidade de Newton? Quais os principais candidatos à matéria escura?	86
	Relato da Aula 4	88
6.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	91
6.1	Apresentação de Resultados	92
6.2	Discussão dos Resultados	98
6.2.1	Categoria 1: Matemática básica	99
6.2.2	Categoria 2: Aprendizado sem significado	102
6.2.3	Categoria 3: Humanas versus Exatas	104
6.2.4	Categoria 4: “Utilitarismo”	105
6.2.5	Categoria 5: O porquê das coisas	107
6.2.6	Categoria 6: Física de laboratório	109
6.2.7	Categoria 7: Novos conhecimentos	113
6.3	Alguns comentários finais acerca da análise	119
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
	REFERÊNCIAS	131
	APÊNDICES	142
	Apêndice A - Questionário Inicial	142
	Apêndice B - Questionário Final	143
	Apêndice C - Respostas dos Alunos que responderam [Ambos] os Questionários (A e B)	144
	Apêndice D - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE)	154

Apêndice E - Termo De Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)	157
Apêndice F - Quadros Referentes às Declarações e Significados Formulados	160
Apêndice G - Texto de Apoio entregue aos estudantes durante a aplicação da Unidade Didática	165
Apêndice H - Material Visual da Unidade Didática	224

1. INTRODUÇÃO

A forma como percebemos e adquirimos nosso conhecimento sobre o universo e tudo o que nos rodeia, desde as pequenas partículas até as imensidões cósmicas, está intrinsecamente ligada à interação eletromagnética, mais especificamente à luz. É por meio de processos de observação e pesquisa que envolvem a luz que somos capazes de aprofundar nossa compreensão do universo.

A luz é emitida por diversas fontes celestes, como estrelas, galáxias, cometas e aglomerados de galáxias, e é captada por poderosos telescópios, tanto aqueles localizados na Terra quanto os enviados ao espaço, como o icônico Hubble e o mais recente James Webb.

Conforme as teorias e evidências atuais, o universo observável, matéria bariônica, ou seja, a parte que interage com a luz, é composta principalmente por prótons, elétrons e nêutrons. Conforme os dados divulgados no sumário da sonda "WMAP - Wilkinson Microwave Anisotropy Probe"¹, a composição percentual aproximada do universo é a seguinte: 4,6% de matéria bariônica, 23,3% de matéria escura e 72,1% de energia escura (ALVES-BRITO; MASSONI, 2019).

Essa constatação sobre a existência da matéria escura e energia escura desafia nossa percepção tradicional do universo e nos impulsiona a buscar respostas para entender sua natureza e seu papel na estrutura e evolução do cosmos. Nesse contexto, esta dissertação busca explorar e difundir nosso conhecimento atual sobre a matéria escura e a energia escura, assim como suas implicações no universo observável, junto a estudantes do Ensino Médio.

Agrupadas, em torno de 95% das maravilhas do universo é chamado de “setor escuro” (LANDIM, 2017). Pertencem, portanto, aos mistérios que parecem inesgotáveis e que nos colocam diante de uma curiosidade desafiadora e instigante. Desafiadora porque o tema “matéria e energia escura” surge como um exemplo contundente de que o nosso conhecimento atual, a Física, a Astrofísica, a Cosmologia, enquanto campos de pesquisa dinâmicos, está em construção. Esta é a razão do uso da expressão “efervescência epistêmica”.

¹ https://lambda.gsfc.nasa.gov/product/wmap/dr3/parameters_summary.html

Instigante porque discutir esses temas atuais no Ensino Médio (EM) pode ajudar a superar um dos maiores desafios, ainda hoje, que se coloca ao ensino de Física, que é a falta de interesse dos estudantes pela disciplina (MOREIRA 2020).

Um currículo escolar demasiadamente inchado tende a transmitir aos estudantes o conhecimento, privilegiando um processo de ensino-aprendizagem mecânico, voltado principalmente aos exames vestibulares ou ao mercado de trabalho, obstando elementos instigantes da Física Moderna e Contemporânea (FMC), que poderiam contribuir como debate social crítico. Superar esse modelo tradicional de ensino é um dos objetivos da aprendizagem significativa crítica (MOREIRA, 2011). Para o autor, a educação científica precisa ser crítica e capaz de formar verdadeiramente para a cidadania.

A literatura da área há décadas tem sido vigilante no sentido de apontar que se faz necessário uma reformulação do currículo da Física (TERRAZZAN, 1992; 1994) a fim de atualizar os temas clássicos, incluir tópicos contemporâneos, e favorecer um ensino voltado ao desenvolvimento social, reflexivo e atual da ciência. Para tanto, incorporar aspectos da FMC no EM pode ser um caminho eficaz (OSTERMANN; MOREIRA, 2000) nas salas de aulas para resgatar e desenvolver conexões entre o estudante e o mundo que o cerca. Vários trabalhos (BAROJAS, 1988; ZOLLMAN, 2016; HOERNIG, 2020) afirmam que a escolha dos temas de Física deve ser feita (ou mesmo sugerida, mapeada) através de escuta a especialistas, de modo a elencar temas que despertem o interesse dos estudantes, debatendo nas salas de aula tópicos que descrevem o mundo que está à nossa volta, e contextualizam a tecnologia tão presente na vida moderna.

Nessa linha, ainda há inúmeros temas da FMC que devem ser aprofundados no currículo do EM. Segundo Ostermann e Moreira (2001) há três tendências que representam as abordagens metodológicas introdutórias à FMC no EM: *exploração dos limites dos modelos clássicos; não utilização de referências aos modelos clássicos; escolha de tópicos essenciais.*

A escolha do tema desta pesquisa, “Matéria Escura e Energia Escura”, pretendeu compartilhar com os estudantes os conhecimentos e avanços de uma área da ciência que está em evolução, ainda com muitas incertezas (KHALIL; MUÑOZ, 2001), pois a Física está caminhando para uma reestruturação em se tratando de escalas cosmológicas. Essa escolha buscou instigar a curiosidade epistêmica, bem

como a construção das habilidades de dialogar e interpretar criticamente a informação, na escola e fora dela (dado que boa parcela de estudantes têm acesso a uma gama imensa de informação através de seus celulares), enquanto uma moeda valiosa no século XXI.

Como já comentado, há evidências de que a maior parte do nosso universo, cerca de 95%, não interage com a luz; 27% seria constituído de matéria escura e 68% de energia escura (BERTONE; HOOPER; SILK, 2004; SANDERS, 2010). Ao analisarmos do ponto de vista epistemológico esse ponto de inflexão em que a Física/Cosmologia atual parecem se encontrar (frente às buscas pela matéria escura e energia escura), percorremos o caminho histórico que nos trouxe ao entendimento atual sobre o tema. Embora o problema da matéria escura esteja em aberto do ponto de vista teórico, e mesmo experimental, procuramos discutir possíveis soluções propostas para este enigma. Alves-Brito e Massoni (2019, p. 55) lembram que *“Cientistas trabalhando em astrofísica analisam a luz emitida por diferentes objetos celestes e delas retiram as informações das quais necessitam para entender o Universo”*; porém, a busca por detecção e compreensão da matéria escura e energia escura justapõe muitas outras evidências, em especial aspectos decorrentes da Teoria da Relatividade Geral e a curvatura da trajetória da luz, ou do espaço-tempo, proposta por Einstein em 1915 (COLES, 2019).

Pretendemos, nesta investigação, analisar e discutir com estudantes da educação básica que a ciência é dinâmica, que através do aprofundamento de aspectos históricos e epistemológicos é possível perceber que ela está em constante movimento. De um lado, as teorias atuais não são suficientes para explicar, por exemplo, a matéria escura e energia escura, e tudo indica para uma grande dificuldade de se gerar previsões testáveis; por outro, os avanços sem precedentes observados nos últimos anos, através de grandes experimentos, grandes telescópios, combinados com novas abordagens teórico-interdisciplinares, como a junção da visão da Física de Partículas com a Astrofísica, têm mostrado esse caráter muito dinâmico da ciência (BERTONE, 2016).

O debate e a investigação acerca deste campo da ciência em evolução foi amparado, nesta investigação, pela perspectiva epistemológica de Gaston Bachelard, em especial, no conceito "Filosofia do Não"; todavia este conceito não tem uma conotação negacionista, senão conciliador (MASSONI, 2005). Bachelard (1996),

influenciado pela revolução gerada pela Teoria da Relatividade e Física Quântica, apresenta em seus trabalhos perspectivas pedagógicas emergentes à introdução destes temas no EM, abrangendo as possíveis dificuldades que temas abstratos possam gerar – os obstáculos epistemológicos; essas inquietudes do espírito que aprende e que dificultam o desenvolvimento do verdadeiro “espírito científico”. Bachelard defende um processo de superação de experiências primeiras ou ideias simples, “de uma contestação das ideias evidentes, de um desdobramento funcional das ideias simples” (GODOI, 2015, p. 15) em direção ao racionalismo completo (ou ultra-racionalismo); ideias simples/impressões primeiras e ideias abstratas/anti intuitivas da Física contemporânea compõem pólos (ou extremos) do que Bachelard conceitua como “espectro epistemológico”, sendo que se faz necessário aprender a transitar por todo o espectro para formação do verdadeiro espírito científico.

Bachelard destaca, em diálogo que busca alertar os professores de ciências:

Acho surpreendente que os professores de Ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. (...) Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de *adquirir* uma cultura experimental, mas sim de *mudar* de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana." (BACHELARD, 1996, pág. 23)

Tais reflexões são ainda atuais, e contribuem ricamente enquanto um referencial epistemológico potente para o delineamento e desenvolvimento desta dissertação, particularmente os ensinamentos constantes em suas obras "A filosofia do Não" (BACHELARD, 1972) e "A formação do Espírito Científico" (BACHELARD, 1996).

A importância de uma abordagem focada no ensino de FMC (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; ZOLLMAN, 2016; HOERNIG, 2020), no caso desta investigação trabalhando o tema “matéria escura e energia escuras” mesmo no período de construção e evolução, em que a Física se encontra, fomenta um estudo norteado pela concepção epistemológica, teórica, histórica e filosófica da ciência. Não encontramos estudos atuais nessa temática, evidenciando uma escassez de trabalhos com aplicação prática, isto é, em sala de aula do EM. Assim, compreendemos que é relevante para o ensino da Física, abordar um tema de FMC em aberto, por seu potencial de explorar e contribuir para a motivação de estudantes à área científica,

mas também se mostrando necessário para a vida participativa na sociedade e no trabalho na contemporaneidade.

1.1 Objetivos

Nesta seção, delineamos os objetivos gerais e específicos que orientaram nossa investigação sobre o tema "Matéria Escura e Energia Escura" no ensino médio, à luz da Epistemologia de Bachelard e da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira.

1.1.1 Objetivo Geral

Através de uma revisão realizada por Moreira e Ostermann (2000), e também de propostas de textos mais recentes (PEDUZZI, 2008; ALVES-BRITO; MASSONI, 2019) fica evidente o aumento do interesse na área de ciências, em especial da Física, de uma abordagem que vise o ensino de FMC para estudantes do EM.

Nessa linha, esta pesquisa objetivou a construção, aplicação e análise dos resultados de uma unidade didática (UD) focada na Física/Cosmologia, à luz da epistemologia de Bachelard e do referencial teórico da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira, para trabalhar o tema Matéria Escura e Energia Escura como forma de abordar no Ensino Médio princípios da Física subjacentes, visando à construção de conhecimentos científicos mais abrangentes, e o desenvolvimento das habilidades de dialogar e interpretar criticamente a informação e a tecnologia presentes no mundo moderno.

O objetivo central foi a aproximação dos estudantes com um campo da ciência em construção, também da tecnologia que os rodeia diariamente; a interpretação da informação em que estão imersos, desenvolvendo uma visão dos processos de formação e evolução "do passado ao futuro" do Universo, articulando uma visão histórico-epistemológica-teoricamente consistente. Também pretendemos estimular o interesse de estudantes da rede pública a buscarem a ciência em uma eventual carreira no ensino superior.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir esse objetivo geral, estabelecemos os seguintes objetivos específicos:

1) Realizar uma revisão da literatura acerca de:

- a) estratégias ou unidades didáticas desenvolvidas para tratar temas da FMC;
- b) artigos que contextualizam o que poderia ser a matéria escura; como sabemos de sua existência; técnicas, experimentos e possíveis formas de detecção;
- c) trabalhos que discutem Cosmologia em diferentes níveis de ensino e/ou explorem a inter-relação com outras teorias, como a Teoria da Relatividade e,
- d) artigos que abordam aspectos epistemológicos (processo não linear, construtivo, colaborativo e dinâmico da Ciência, bem como a presença do erro), diante da efervescência epistêmica que o tema suscita;

2) Desenvolver uma unidade didática através da vertente “exploração dos limites dos modelos clássicos” (OSTERMANN; MOREIRA, 2001), trazendo a ciência como um empreendimento humano dinâmico, mutável, marcado por rupturas para a sua compreensão como algo emergente; uma unidade didática alinhada com o referencial teórico da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2011), e abrangendo o atual processo de construção de hipótese explicativas, que contempla erros e acertos, sob a visão epistemológica de Gaston Bachelard (1978; 1991; 1996; 2006).

3) Aplicação da unidade didática a uma turma de EM de uma escola da rede pública, coletando dados a partir da interação da pesquisadora e de questionários pré e pós aplicados, visando alcançar possíveis avanços de compreensão conceitual, também mudanças de visão de ciência que a intervenção pôde gerar, bem como o nível de interesse dos estudantes e professores, e posterior divulgação de resultados.

1.2 Questões de Pesquisa

As questões que nortearam este estudo foram:

1) Como abordar um tema de FMC, em particular, um tema em evolução como Matéria e Energia Escura, de maneira a motivar os estudantes ao estudo da Física? Que características deve ter uma unidade didática capaz de apresentar esse tema da FMC, construir uma visão adequada de ciência, e desenvolver habilidades de dialogar e interpretar criticamente o conhecimento?

2) O que se pode entender de Matéria Escura e Energia Escura e por que são necessárias para a compreensão do futuro do Universo? Como a ciência está avançando e se desenvolvendo sobre o enigma Matéria e Energia Escura?

Na sequência, aprofundamos os referenciais teórico-epistemológicos que nos serviram de lentes para a interpretação dos resultados e ao delineamento da pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICO

2.1 Epistemologia de Bachelard

Esta investigação assume um quadro teórico-metodológico e epistemológico que integra a visão de ciência que se desenvolveu ao longo do século XX, quando o grande avanço na produção do conhecimento científico, especialmente com o surgimento da Teoria da Relatividade e da Física Quântica, fez avançar grandemente a Epistemologia, ou, dito de outra forma, as visões sobre o processo de evolução científica. Assim, a nossa linha de investigação assume a perspectiva de ciência e de ensino de ciência de Gaston Bachelard, que exerceu a docência de Química e Física no secundário, no início de sua carreira, em sua cidade natal Bar-sur-Aube, na França, tendo refletido sobre o processo de ensino-aprendizagem dessas disciplinas, razão por que sua epistemologia é tomada também como fornecedora de certos aportes didático-metodológicos.

A concepção de ciência de Bachelard é focada na “Filosofia do Não” (MASSONI, 2005) e sob essa óptica, os avanços científicos emergem do constante questionamento do espírito científico (aquele que se instrui, ou que pratica ciência); não há continuísmo, mas sim uma permanente contestação, um “não” para o conhecimento comum, às ideias simples, às experiências primeiras, contudo é um “não” conciliador, é não niilista ou negacionista; é um “não” no sentido de reformular os saberes gerando rupturas e descontinuidades capazes de nos fazer avançar.

O conhecimento, para Bachelard, colocado em termos de rupturas, é sempre inconcluso e o espírito científico deve cultivar uma postura de desilusão com respeito ao estágio do conhecimento de sua época, deve permanecer vigilante e em estado permanente de questionamento.

Assim, ele introduz o conceito de obstáculos epistemológicos, sendo estes empecilhos ao avanço do espírito científico. Por exemplo, Bachelard (1996) coloca o conhecimento comum como um obstáculo epistemológico ao conhecimento científico, logo superar estes obstáculos é necessário. Ele sugere discussões nas quais a lógica racionalista ascende a lógica empirista e o senso comum.

Para se desenvolver um espírito científico a partir da “filosofia do não”, Bachelard afirma:

Pensar corretamente o real é aproveitar as suas ambiguidades para modificar e alertar o pensamento. Dialectizar o pensamento aumenta a garantia de criar cientificamente fenômenos completos, de regenerar todas as variáveis degeneradas ou suprimidas que a ciência, como o pensamento ingênuo havia desprezado no seu primeiro estado. (BACHELARD, 1978, p. 10).

Segundo o epistemólogo, o maior progresso da humanidade é o auferido pela ciência. A formação do espírito científico passa por uma progressão, uma superação de obstáculos epistemológicos que entravam os avanços do conhecimento. A ciência detém a premissa de afastar o espírito pré-científico de aprendizagens *a priori* facilitadas, onde o objeto de estudo não é analisado em sua completude, levando o espírito científico a transitar do realismo ingênuo a um ultra-racionalismo ou racionalismo complexo.

A abordagem do objeto científico deve ser feita através do uso sucessivo de diversos métodos, pois cada um estaria destinado a tornar-se obsoleto, com constante repensar teórico, experimental, epistemológico, e é nisto que percebemos um alinhamento da epistemologia de Bachelard com o estágio atual de busca pela detecção e compreensão da Matéria e Energia Escura.

Bachelard foi fortemente influenciado pela Relatividade Geral e pela Mecânica Quântica, o que se evidencia em suas obras ao abordar a mudança na compreensão da Física por meio do pensamento científico da Física Moderna Contemporânea. Essa influência é destacada em suas próprias palavras.

Com a ciência einsteiniana começa uma sistemática revolução das noções de base. É no próprio detalhe das noções que se estabelece um relativismo do racional e do empírico. (BACHELARD apud, PESSANHA 1978).

Assim, de forma resumida, Bachelard identifica três grandes períodos caracterizados por rupturas significativas e aborda sua relação com o desenvolvimento do pensamento científico. O primeiro período abrange o estado pré-científico, que compreende desde a Antiguidade Clássica até o período do Renascimento, englobando o final do século XVIII. O segundo período é representado pelo estado científico, que se estende até o final do século XX. Já o terceiro período é marcado pelo novo espírito científico, iniciado especificamente em 1905, segundo o próprio Bachelard, foi um "momento em que a Relatividade de Einstein deforma conceitos primordiais que eram tidos como fixos para sempre". Nesse período de

maturidade espiritual, surgem avanços como a Mecânica Quântica, a Mecânica Ondulatória de Louis de Broglie, a Física Matricial de Heisenberg e a Mecânica de Dirac. (BACHELARD, 1996, p. 9)

Referente aos três estados do espírito, Bachelard enuncia:

1º O estado concreto, em que o espírito se entretém com as primeiras imagens do fenômeno e se apoia numa literatura filosófica que exalta a Natureza, louvando curiosamente ao mesmo tempo a unidade do mundo e sua rica diversidade.

2º O estado concreto-abstrato, em que o espírito acrescenta à experiência física esquemas geométricos e se apoia numa filosofia da simplicidade. O espírito ainda está numa situação paradoxal: sente-se tanto mais seguro de sua abstração, quanto mais claramente essa abstração for representada por uma intuição sensível.

3º O estado abstrato, em que o espírito adota informações voluntariamente subtraídas à intuição do espaço real, voluntariamente desligadas da experiência imediata e até em polémica declarada com a realidade primeira, sempre impura, sempre informe. (BACHELARD, 1996, pg. 11)

Essa perspectiva resultou em reflexões bachelardianas sobre a importância de introduzir esse conhecimento na educação secundária, levando em consideração os obstáculos epistemológicos que fazem parte da experiência estudantil e da necessária ruptura com o senso comum que acomete os alunos. Embora as reflexões de Bachelard sejam direcionadas aos professores da época que atuavam na área das ciências naturais, suas ideias permanecem relevantes nos dias atuais.

Para Bachelard (1996), o desenvolvimento do espírito científico ocorre quando o conhecimento é uma resposta a uma pergunta. Sem questionamento, não há conhecimento científico. No cerne do ato de conhecer surgem, então, inquietações, confusões que dão origem à noção de obstáculo epistemológico.

Na presente investigação, baseados nos temas da Matéria Escura e Energia Escura, confrontamo-nos conscientemente com a necessidade de romper com o conhecimento científico bem estabelecido e com nossas experiências primeiras, visto que tomados como extremos tornam-se obstáculos ao novos questionarmos e conhecimentos (O que é a matéria e energia escura?).

Bachelard (1991) diz que surge, então, a necessidade de uma atitude da ruptura, de dizer não aos conhecimentos anteriores, porém um “não” conciliador em relação ao conhecimento científico, pois sem ele não poderemos obter o novo conhecimento científico, necessário para responder a estas novas questões.

Bachelard (1991; 1996), ao abordar a formação do espírito científico, identifica como primeiro obstáculo a experiência primeira. Segundo ele, essa experiência inicial

pode criar obstáculos epistemológicos ao aprendizado do conhecimento científico, uma vez que muitas vezes a aprendizagem é permeada por percepções imediatas e subjetivas, sendo este um impulso natural. Nesse contexto, a ausência de debate sobre a história das ideias científicas, no âmbito do ensino regular, resulta na superficialidade das experiências, que são apresentadas meramente para despertar admiração, sem promover a compreensão efetiva do conhecimento subjacente. Bachelard destaca a importância de explorar a história das ideias científicas, permitindo que os estudantes questionem, reflitam e compreendam o contexto e a evolução do conhecimento científico ao longo do tempo.

Outro obstáculo epistemológico diz respeito ao conhecimento geral ou senso comum. Segundo Bachelard (1996), essas leis gerais e universais muitas vezes limitam a compreensão científica ao estabelecer ideias preconcebidas e crenças que podem dificultar a assimilação de conceitos científicos.

Mais um obstáculo no processo da aprendizagem das Ciências está relacionado ao conhecimento que é baseado em uma única imagem, ou palavra, que pretende definir um fenômeno ou conceito, sendo este um obstáculo verbal. Bachelard adverte sobre o uso problemático dessa forma generalizada de conhecimento, pois é necessário que a abstração da imagem ou palavra se afaste de sua forma primitiva ou literal. Nesse sentido, a explicação verbal que se apoia em substantivos carregados de adjetivos pode criar obstáculos à compreensão do aluno.

Um exemplo disso é a noção-obstáculo do "choquismo", em que a palavra "choque" é utilizada para definir o fenômeno de interação (como ocorre com bolas de bilhar). No entanto, essa palavra acaba estabelecendo um obstáculo à medida que a natureza da interação entre partículas ou cargas elétricas é diferente da ideia de um encontro violento ou colisão. Bachelard ressalta a importância de refletir sobre as palavras e conceitos utilizados, a fim de evitar esses obstáculos à compreensão mais precisa e aprofundada do conhecimento científico.

O perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem. (BACHELARD, 1996, p. 99).

Outro obstáculo é relacionado ao conhecimento unitário e pragmático, no qual a questão da generalidade como pensamento empírico passa a ser fundamentada em um pensamento filosófico. Esse obstáculo diz respeito à resolução de problemas por

meio de um único princípio geral. Para ele, o espírito pré-científico busca generalizar vários acontecimentos em uma explicação baseada em um princípio único. Dessa forma, toda descrição do geral acaba por descrever o específico, ou seja, o que é válido para o grande também é válido para o pequeno, e vice-versa. (BACHELARD, 1996). Ainda no âmbito deste obstáculo, Bachelard levanta uma discussão em relação ao *obstáculo pragmático* do racionalismo pragmático, que está associado à noção de utilidade, onde qualquer aspecto desprovido de utilidade seria considerado irracional (BACHELARD, 1996). O pragmatismo é uma filosofia que atribui valor verdadeiro ao que é prático.

Logo, o verdadeiro deve ser acompanhado do útil. O verdadeiro sem função é um verdadeiro mutilado. E, quando se descobre a utilidade, encontra-se a função real do verdadeiro. Esse modo de ver utilitário é, porém, uma aberração. Já tanto se mostraram os perigos das explicações finalistas que não parece necessário insistir no peso desse obstáculo para chegar a uma cultura objetiva de fato. (BACHELARD, 1996, p.117).

Bachelard aponta outro obstáculo conhecido como *obstáculo substancialista*, que envolve a atribuição de uma intimidade aos objetos, onde o espírito pré-científico pressupõe que há um interior ou que o objeto é o próprio interior, conferindo-lhe qualidades substanciais íntimas. Esse obstáculo se manifesta na ideia de que o "grande" possui as mesmas características que o "pequeno". Bachelard ilustra essas qualidades com exemplos como a sensação de sabor da corrente elétrica e as qualificações atribuídas à água como sendo "suave" ou como sendo "dura".

Um dos sintomas mais claros da sedução substancialista é o acúmulo de adjetivos para um mesmo substantivo: as qualidades estão ligadas à substância por um vínculo tão direto que podem ser justapostas sem grande preocupação com suas relações mútuas[...]. Na ciência, os atributos são pensados de forma hierárquica e não de forma justaposta. (BACHELARD, 1996, p.140).

Há também o obstáculo realista. Bachelard argumenta que a mistura do pensamento erudito e experimental é um dos principais obstáculos ao espírito científico. Existe uma tendência de atribuir uma sensação de posse, onde o oculto prevalece sobre o evidente. Há a necessidade de explicar o abstrato por meio do concreto, do real. Um exemplo apresentado por Lopes (1990) é que os professores do Ensino Médio tentam "demonstrar" aos alunos que os objetos da microfísica estão associados a *corpúsculos*, e, nessa tentativa, as características do macro são aplicadas ao micro. Bachelard diz que a concepção do corpúsculo como um "pequeno

corpo” e a noção de “interação” entre os corpúsculos ocorrendo por meio do choque compõe os obstáculos verbais (BACHELARD, 1971).

De forma que o realismo pode, com razão, ser considerado a única filosofia inata, o que não nos parece vantajoso. Para aquilatá-lo, é preciso ultrapassar o plano intelectual e compreender que a substância de um objeto é aceita como um bem pessoal. Apossa-se dela espiritualmente como se toma posse de uma vantagem evidente. (BACHELARD, 1996, p.163)

O obstáculo animista é a tendência de atribuir características de vida biológica e animada a objetos materiais e fenômenos inanimados. Lopes (1990) descreve a concepção dos químicos dos séculos XVIII e XIX, que acreditavam que a matéria orgânica só poderia ser formada por organismos vivos, ou seja, era necessária uma *força vital*. Para Bachelard, o animismo acaba afastando a objetividade científica e dificulta a abstração do conhecimento.

A matéria morta é inerte e sem forma orgânica; a matéria viva é um milhão de vezes mais tênue que a menor molécula de matéria morta que o melhor microscópio possa nos mostrar... (CONDE DE TRESSAN *apud* BACHELARD, 1996, p. 192).

Lopes (1993) ressalta que no Ensino de Ciências há uma tendência dos professores em buscar uma aproximação entre o conhecimento abstrato e princípios biológicos ao ensinar conceitos físicos. Essa abordagem também é encontrada em livros didáticos, como exemplificado pelo conceito de atomística, onde os átomos são representados com características humanas e com diálogos (GUERRA *et al.*, 2019), associação [entre o abstrato e o biológico] que pode dificultar uma compreensão mais objetiva e científica dos conceitos físicos. O obstáculo pode se manifestar quando o aluno percebe que a matéria não possui uma “força vital” com características intrínsecas, e há o risco de ele perder de vista as propriedades essenciais da matéria, dificultando a abstração.

A vida marca as substâncias que anima com um valor indiscutível. Quando uma substância deixa de ser animada, perde algo de essencial. A matéria que saía de um ser vivo perde propriedades importantes. (BACHELARD, 1996, p. 192)

Para Bachelard, o “obstáculo quantitativo” é uma manifestação do espírito pré-científico que busca fundamentar a compreensão da física exclusivamente na experiência física, negligenciando a importância da informação matemática. O espírito pré-científico tende a resistir à abordagem quantitativa da Física, pois prefere

permanecer na esfera da experiência direta, buscando explicações apenas por meio de observações empíricas.

Tal resistência é alimentada pela crença de que a Matemática é abstrata e distante da realidade concreta. O espírito pré-científico vê a Matemática como algo complexo e desnecessário, considerando que a compreensão dos fenômenos físicos pode ser alcançada apenas por meio da observação e descrição qualitativa.

A Física é, em si, simples, natural e fácil, quero dizer fácil de entender. Conhecem-se os termos, conhecem-se os objetos. De modo natural observamos e sentimos a maioria das coisas, a luz, o calor, o frio, o vento, o ar, a água, o fogo, a gravidade, a energia, a duração etc. Cada olhada é uma observação da natureza; cada operação de nossos sentidos e de nossas mãos é uma experiência. Todo mundo é um pouco físico, mais ou menos de acordo com o espírito mais ou menos atento, e capaz de um raciocínio natural. Ao passo que a Geometria é toda abstrata e misteriosa em seu objeto, em seus procedimentos, até em seus termos. (CASTEL *apud* BACHELARD, 1996)

As reflexões acerca do conhecimento científico como uma experiência que contradiz a experiência comum foram levadas em consideração durante a elaboração da Unidade Didática (UD) e na construção de um Texto de Apoio ao Professor de Física, apresentado no Apêndice G desta dissertação, levando em consideração as noções-obstáculo e os obstáculos epistemológicos apontados por Bachelard. Com relação aos três momentos do estado do espírito científico, o objetivo das aulas foi elucidar a evolução do pensamento científico, destacando que as ciências estão em constante evolução, assim como os conceitos e teorias da Física, e que nada permanece imutável. A ideia de ruptura com os conhecimentos anteriores permeou toda a Unidade Didática. Alguns conceitos bachelardianos são retomados na análise das categorias (Capítulo 6).

2.2 Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira

Professor e pesquisador pioneiro na área do Ensino de Física, Marco Antonio Moreira (MOREIRA, 2011) desenvolveu uma teoria crítica e referenciada em dois pilares. Primeiramente em Neil Postman e Charles Weingartner (1969) em seu livro *Teaching as a subversive activity* e em algumas reflexões de Postman em livros mais recentes (*Technopoly*, 1993 e *The end of Education*, 1996). Desses autores advém o raciocínio de que aprendizagem significativa subversiva é uma estratégia necessária para sobreviver na sociedade contemporânea e em constante transformação.

O segundo pilar é o princípio de David Ausubel (AUSUBEL, 1963, 2000) de que *aprendemos a partir do que já sabemos* e acrescenta mais um princípio facilitador da aprendizagem significativa crítica, o do *abandono da narrativa* inspirado no livro *Dar clase con la boca cerrada*, de Finkel (2008).

Se o professor tem como objetivo desenvolver uma aprendizagem significativa, precisa mapear os conhecimentos prévios específicos dos estudantes - os subsunçores - pois serão esses conhecimentos, mesmo que não diretamente relacionados ao tema que será proposto, a fornecer uma conexão com a nova aprendizagem, tornando-se relevantes para elaborar e selecionar materiais potencialmente significativo. Isto é, material instrucional organizado logicamente e inteligível para que os aprendizes possam relacionar o novo conhecimento com aqueles pré-existentes em sua estrutura cognitiva. Para Ausubel e Moreira, nessa linha, existem duas condições básicas para a aprendizagem significativa acontecer: 1) o novo conhecimento e as informações devem ser potencialmente significativas para o sujeito, ou seja, ser preparado e pensado para que possa se relacionar com os conhecimentos previamente adquiridos; 2) O sujeito deve estar disposto a aprender, deve manifestar disposição para relacionar o novo conhecimento apresentado à sua estrutura cognitiva.

Assim, mesmo que o professor prepare uma aula, ou informação potencialmente significativa, se o aprendiz não estiver disposto a integrá-la à sua estrutura cognitiva, a aprendizagem será mecânica. De outro lado, se o sujeito está disposto a aprender, mas as informações trazidas não são potencialmente significativas, o resultado também não será de uma aprendizagem significativa.

Ausubel salienta que devemos estar atentos em utilizar questões novas e não familiares aos aprendizes, que requeira o uso de máximos subsunçores possíveis. Nessa perspectiva, pode-se compreender a aprendizagem significativa como:

“(...) se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator isolado mais importante que influencia na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie isso nos seus ensinamentos” (AUSUBEL, NOVAK, HANESIAN *apud* SOUSA, SILVANO, LIMA, 2018)

Compreendida a essência da aprendizagem significativa, quais seriam as atribuições para alcançarmos uma aprendizagem significativa crítica? Moreira (2010) elucida a aprendizagem significativa crítica como sendo "*aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela*". O cerne desta aprendizagem é subjacente a subversão fundamentada para Postman e Weingartner, sendo através dela que a cultura, na qual o indivíduo está inserido, sofre mudanças e o aluno se encontra apto para recebê-las sem ser subjugado, passando por transições construtivas.

O planejamento da UD incluiu a aplicação de um questionário prévio (Questionário Inicial, Apêndice A) com a finalidade de investigar os subsunçores dos alunos, ou mesmo pré-conceitos sobre o tema Matéria Escura e Energia Escura, visando desenvolver não apenas um material potencialmente significativo, mas promover reflexões que evoluíssem para uma aprendizagem significativa crítica da temática e do processo de construção da Ciência.

Além de levar em conta os princípios programáticos de Ausubel para facilitar a aprendizagem significativa, Moreira (2010) propõe onze princípios, ideias ou estratégias facilitadoras da aprendizagem significativa crítica, que passamos a sumarizar, pois vários desses nos guiaram na construção e aplicação da UD, que é o cerne desta pesquisa.

Princípio do conhecimento prévio. Aprendemos a partir do que já sabemos. A aprendizagem significativa, no sentido de captar e internalizar significados socialmente construídos e contextualmente aceitos, é o primeiro passo, ou condição prévia, para uma aprendizagem significativa crítica. Quer dizer, para ser crítico de algum conhecimento, de algum conceito, de algum enunciado, primeiramente o sujeito tem que aprendê-lo significativamente e, para isso, seu conhecimento prévio é, isoladamente, a variável mais importante.

Princípio da interação social e do questionamento. Ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas. A interação social é indispensável para a concretização de um episódio de ensino. Tal episódio ocorre quando

professor e aluno compartilham significados em relação aos materiais educativos do currículo. (Gowin, 1981). O compartilhar significados resulta da negociação de significados entre aluno e professor. Mas essa negociação deve envolver uma permanente troca de perguntas ao invés de respostas.

Princípio da não centralidade do livro de texto. Do uso de documentos, artigos e outros materiais educativos. Da diversidade de materiais instrucionais. O livro de texto simboliza aquela autoridade de onde "emana" o conhecimento. Professores e alunos se apóiam em demasia no livro de texto. Parece, como dizem Postman e Weingartner, que o conhecimento está ali à espera de que o aluno venha a aprendê-lo, sem questionamento. Artigos científicos, contos, poesias, crônicas, relatos, obras de arte e tantos outros materiais representam muito melhor a produção do conhecimento humano.

...

Não se trata, propriamente, de banir da escola o livro didático, mas de considerá-lo apenas um dentre vários materiais educativos. Seguramente, há bons livros didáticos em qualquer disciplina, mas adotar um único como livro de texto, vai contra a facilitação da aprendizagem significativa crítica. É uma prática docente deformadora, ao invés de formadora, tanto para alunos como para professores. (MOREIRA, 2010, p. 10).

Princípio do aprendiz como perceptor/representador. Muitas práticas escolares têm sido criticadas por considerarem os alunos como *receptores* da matéria de ensino. Na teoria da aprendizagem significativa argumenta-se que a aprendizagem receptiva, i.e., aquela em que o novo conhecimento é recebido pelo aprendiz, sem necessidade de descobri-lo, é o mecanismo humano por excelência para assimilar (reconstruir internamente) a informação (Ausubel et al., 1978, 1980, 1983; Ausubel, 2000).

Princípio do conhecimento como linguagem. Cada linguagem, tanto em termos de seu léxico como de sua estrutura, representa uma maneira singular de perceber a realidade. Praticamente tudo o que chamamos de "conhecimento" é linguagem. Isso significa que a chave da compreensão de um "conhecimento", ou de um "conteúdo" é conhecer sua linguagem. Uma "disciplina" é uma maneira de ver o mundo, um modo de conhecer, e tudo o que é conhecido nessa "disciplina" é inseparável dos símbolos (tipicamente palavras) em que é codificado o conhecimento nela produzido. Ensinar Biologia, Matemática, História, Física, Literatura ou qualquer outra "matéria" é, em última análise, ensinar uma linguagem, um jeito de falar e, conseqüentemente, um modo de ver o mundo.

Princípio da consciência semântica. Este princípio facilitador da aprendizagem significativa crítica implica várias conscientizações. A primeira delas, e talvez a mais importante de todas, é tomar consciência de que **o significado está nas pessoas, não nas palavras.** Sejam quais forem os significados que tenham as palavras, eles foram atribuídos a elas pelas pessoas. Contudo, as pessoas não podem dar às palavras significados que estejam além de sua experiência. Quando o aprendiz não têm condições, ou não quer, atribuir significados às palavras, a aprendizagem é mecânica, não significativa.

A segunda conscientização necessária, e muito relacionada à primeira, é a de que as palavras não são aquilo ao qual elas ostensivamente se referem. Quer dizer, a palavra não é coisa (MOREIRA, 2010, p. 13).

Princípio da aprendizagem pelo erro. É preciso não confundir aprendizagem pelo erro com o conceito de aprendizagem por ensaio-e-erro, cujo significado é geralmente pejorativo. Na medida em que o conhecimento prévio é o fator determinante da aprendizagem significativa, ela, automaticamente, deixa de ser o processo errático e teórico que caracteriza a aprendizagem por ensaio-e-erro. A ideia aqui é a de que o ser humano erra

o tempo todo. É da natureza humana errar. O homem aprende corrigindo seus erros. Não há nada errado em errar. Errado é pensar que a certeza existe, que a verdade é absoluta, que o conhecimento é permanente.

Princípio da desaprendizagem. Este princípio é importante para a aprendizagem significativa crítica por duas razões. A primeira delas tem a ver com a aprendizagem significativa subordinada. Nesse processo, como já foi dito, o novo conhecimento interage com o conhecimento prévio e, de certa forma, ancora-se nele. É através dessa interação que o significado lógico dos materiais educativos se transforma em significado psicológico para o aprendiz. Tal mecanismo, que Ausubel chama de assimilação, é o mecanismo humano, por excelência, para adquirir a vasta quantidade de informações que constitui qualquer corpo de conhecimento. Para aprender de maneira significativa, é fundamental que percebamos a relação entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento. Porém, na medida em que o conhecimento prévio nos impede de captar os significados do novo conhecimento, estamos diante de um caso no qual é necessária uma desaprendizagem. ...

Desaprender está sendo usado aqui com o significado de não usar o conhecimento prévio (subsunçor) que impede que o sujeito capte os significados compartilhados a respeito do novo conhecimento. Não se trata de "apagar" algum conhecimento já existente na estrutura cognitiva o que, aliás, é impossível se a aprendizagem foi significativa, mas sim de não usá-lo como subsunçor.

A segunda razão pela qual é importante aprender a desaprender está relacionada com a sobrevivência em um ambiente que está em permanente e rápida transformação.

Princípio da incerteza do conhecimento. Nos chama atenção que nossa visão de mundo é construída primordialmente com as definições que criamos, com as perguntas que formulamos e com as metáforas que utilizamos. Naturalmente, estes três elementos estão inter-relacionados na linguagem humana.

Contudo, é preciso não confundir este princípio da incerteza do conhecimento com indiferença do conhecimento, ou seja, que qualquer conhecimento vale. O que ele está chamando atenção é para o fato de que nosso conhecimento é construção nossa e, portanto, por um lado, pode estar errado, e, por outro, depende de como o construímos.

Princípio da não utilização do quadro-de-giz. Da participação ativa do aluno. Da diversidade de estratégias de ensino. Este princípio é complementar ao terceiro. Assim como o livro de texto simboliza a autoridade de onde "emana" o conhecimento, o quadro-de-giz simboliza o ensino transmissivo, no qual outra autoridade, o professor, parafraseia, ou simplesmente repete, o que está no livro, ou resolve exercícios, para que os alunos copiem, "estudem" na véspera da prova e nela repitam o que conseguem lembrar. É difícil imaginar ensino mais anti-aprendizagem significativa, e muito menos crítica, do que esse: o professor escreve no quadro, os alunos copiam, decoram e reproduzem. É a apologia da aprendizagem mecânica, mas, ainda assim, predomina na escola.

Princípio do abandono da narrativa. De deixar o aluno falar. Este princípio é complementar ao da não utilização do quadro-de-giz que, por sua vez, é complementar ao da não centralidade do livro de texto. Usar um livro de texto como referência única de um certo conhecimento, transmite a ilusão da certeza, não promove a aprendizagem significativa crítica e estimula a aprendizagem mecânica.

Moreira (2010) diz que tendemos, enquanto professores, escrever no quadro para os alunos copiarem em seus cadernos e estudarem; mas que devemos superar esta prática, como também a de repetir o que está em um livro de texto. Mesmo que façamos esquemas, sínteses, ou exemplos, ainda assim estaremos no modelo clássico. Para que a aprendizagem seja significativa e crítica é preciso muito mais, precisamos engajar os alunos, problematizar relacionando a física com a vida social, construir concepções atuais e adequadas do processo científico da moderna ciência, aproximar a física escolar do campo de pesquisa da Física Contemporânea. Em boa medida foi o que buscamos fazer nesta pesquisa.

Outro conceito derivado da aprendizagem significativa é o processo de assimilação, que envolve a forma como os novos conceitos são adquiridos e relacionados à estrutura cognitiva preexistente, resultando em uma aprendizagem com significado. Desta forma a assimilação de conceitos refere-se ao processo pelo qual o aprendiz adquire novos conceitos ao receber informações sobre seus atributos essenciais e estabelecer conexões com ideias relevantes já presentes em sua estrutura cognitiva. Um aspecto crucial desse processo é a relação substantiva e não arbitrária entre as ideias relevantes já estabelecidas na estrutura cognitiva do aprendiz e o conteúdo potencialmente significativo (MOREIRA, MASINI *apud* SOUSA, SILVANO, LIMA, 2018).

Desta forma, no contexto da matéria escura e energia escura à elaboração da UD, a essa assimilação estão relacionados conhecimentos como ondulatória, gravidade e eletromagnetismo, que fornecem os subsunçores necessários a essa temática da FMC, que possivelmente já foram abordados aos alunos. Explorando os conceitos de ondulatória, os alunos podem compreender as propriedades fundamentais das ondas, incluindo frequência, comprimento de onda, amplitude e velocidade. Essas propriedades são cruciais para a compreensão da radiação eletromagnética, que é uma das formas de detecção e estudo da matéria escura e energia escura. Através da ondulatória, os alunos são introduzidos a fenômenos como o Efeito Doppler relacionado ao afastamento das galáxias a partir de medidas do desvio para o vermelho e suas velocidades orbitais, que desempenham um papel importante nas observações e análises relacionadas a esses fenômenos cósmicos.

Além disso, ao abordar a gravidade, os alunos são levados a contrastar a força gravitacional bem estabelecida por Newton e, posteriormente, são introduzidos à

Teoria da Relatividade Geral de Einstein, que oferece uma compreensão diversa da natureza gravitacional. Ao explorar este conceito, os alunos podem compreender como as distorções do "tecido" espaço-tempo causadas por corpos massivos e energias afetam a trajetória da luz, e a distribuição de matéria no universo. Essa compreensão é essencial para a análise e estudo da matéria escura, uma vez que sua existência é inferida pela influência gravitacional que exerce sobre a matéria bariônica.

O eletromagnetismo também desempenha um papel importante na exploração da matéria e energia escura. Os alunos detendo os conceitos acerca de interações dessa natureza, podem estabelecer assimilações significativas sobre a detecção e análise da radiação cósmica de fundo, por exemplo, que fornece importantes indicações sobre a composição e a distribuição da matéria e energia escura durante a evolução do Universo desde a teoria do Big Bang.

Ao relacionar esses conceitos ao estudo da matéria escura e energia escura, os estudantes são capazes de assimilar de forma significativa o conhecimento relacionado a esses temas atuais da ciência. Neste percurso, os alunos são incentivados a realizar reflexões críticas acerca da evolução do pensamento científico bem como no desenvolvimento de tecnologias avançadas, onde a premissa não necessariamente foi destinada ao conhecimento científico. Essa abordagem visa estimular a formação do *novo espírito científico* e a concepção do conhecimento como uma constante evolução. Ao integrar os conceitos de ondulatória, gravidade e eletromagnetismo, os alunos são capazes de construir uma compreensão mais abrangente dos paradigmas da ciência atual e a aproximar de modo crítico a ciência à sociedade.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Perspectiva Histórica

Realizamos, em colaboração com um aluno de Iniciação Científica (IC), uma revisão da literatura, com busca de artigos acerca do tema proposto, visando compreender os avanços e tendências da ciência desde que Zwicky, em 1931, trouxe dados corroborando a existência de uma possível massa não visível, necessária para garantir as velocidades de rotação das galáxias no superaglomerado de Coma que eram, à época, medidas (SWINBANK, 2017). Em paralelo aos trabalhos teóricos publicados sobre o tema de FMC, a revisão buscou trabalhos que trouxessem a História da Ciência, referencial epistemológico e aspectos didáticos.

A busca foi feita na base de dados Periódicos Capes e na biblioteca digital *Scientific Electronic Library Online*² para obter artigos relevantes. Além disso, foram utilizados artigos originais escritos por cientistas, como V. Rubin, A. Riess e F. Zwick.

Como dito, houve a colaboração de um aluno de Iniciação Científica (IC) para o desenvolvimento deste estudo. O papel do bolsista de IC foi o de fazer as buscas sistemáticas nas bases de dados, separar os artigos relevantes em discussão com a pesquisadora, e proceder à leitura e à construção de breves sínteses de cada artigo, em parceria com a pesquisadora, fazendo uso de planilha compartilhada.

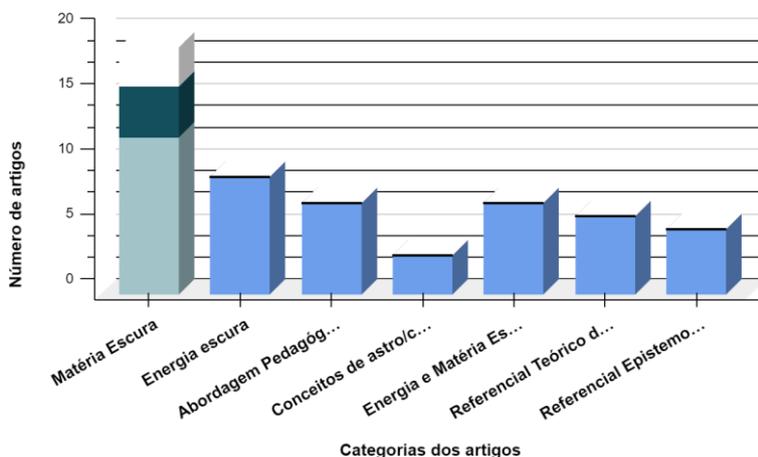
Foram encontrados e categorizados um total de 56 artigos, conforme ilustrado na Figura 1.

A classificação dos artigos foi realizada com base em sua proposta inicial e na ênfase temática predominante. Por exemplo, se o artigo relata métodos experimentais para a detecção da matéria escura, foi classificado na categoria “matéria escura”; se versa sobre as evidências da existência de energia escura, foi classificado na categoria “energia escura”. É crucial destacar que a maioria dos artigos aborda matéria escura sem deixar de discutir energia escura e vice-versa, no entanto, cada artigo foi categorizado de acordo com a abordagem principal, predominante, segundo nossa interpretação. Quando, porém, tratava dos dois temas (matéria escura e energia escura) de forma equilibrada, foi colocado na categoria “energia e matéria escura”. Se

² [SciELO](#)

um artigo trata do tema sob uma perspectiva epistemológica foi classificado como tal, e assim procedemos para as demais categorias.

Figura 1: distribuição em categorias dos artigos localizados; observam-se artigos do referencial teórico adotado (Moreira) e uma coluna de originais do referencial epistemológico (Bachelard); na primeira coluna a cor verde mais clara indica a subcategoria “possíveis formas de detecção”; a cor verde escura indica artigos que contextualizam “o que poderia ser essa matéria escura”; a parte branca mostra artigos que não se enquadram perfeitamente nas categorias citadas.



Fonte: Pesquisadora e bolsista de IC, 2022.

A análise da Figura 2 sugere a possibilidade de uma tendência crescente de pesquisas sobre essa temática ao longo das últimas duas décadas. Isso poderia indicar um interesse em constante ascensão com respeito à “matéria escura e energia escura” no âmbito acadêmico, possivelmente impulsionado pelos avanços tecnológicos (e.g., grandes telescópios) e pelas descobertas recentes nesse campo. No entanto, é importante ressaltar que essa é nossa interpretação, e requer uma análise mais aprofundada, de especialistas, para confirmar ou refutar essa tendência.

Figura 2: Cronologia de publicação dos artigos analisados.



Fonte: Pesquisadora e bolsista de IC, 2022.

Contudo, observamos que são raros os trabalhos que utilizam algum referencial teórico-metodológico-epistemológico para discutir essa temática. Alguns trabalhos (WALLACE; PRATER, 2012) apontam dificuldades dos estudantes na compreensão de: escalas de distância e de tempo; análise de gráficos, etc. Os autores apoiam fortemente o ensino de Cosmologia para abordar essa teoria. Pössel (2020) trabalhou com distintas interpretações de Universo (estacionário com galáxias se afastando; e outra em que o Universo estaria em expansão cósmico-relativística) junto a estudantes, e objetivou discutir as interpretações a partir das visões (ou potenciais preconceitos) destes. O artigo sugere atividades possíveis de serem realizadas em sala de aula; e analisa um estudo feito na Alemanha sobre perguntas de estudantes sobre o tema e aponta alguns conceitos errôneos mais prevalentes sobre o tema (e.g. pensamentos equivocados em relação à Teoria do *Big Bang*; dificuldades frente à “violação” da filosofia Copernicana, ao acharem que o “ponto” onde teria ocorrido o *Big Bang* seria o centro do Universo).

Estudos detalhados sobre a “história da matéria escura” são muito difíceis de serem localizados. Mesmo entre especialistas da área, poucas são as referências que abordam uma perspectiva histórica da/sobre a Matéria Escura. Bertone (2016) ressalta a dificuldade de encontrar artigos destinados a este assunto:

Apenas um pequeno número de cientistas, e ainda menor número de historiadores, se esforçaram para analisar sistematicamente o desenvolvimento do problema da matéria escura a partir de uma perspectiva histórica, e é surpreendentemente difícil encontrar artigos e livros que façam justiça à fascinante história da matéria escura.

Para compreendermos quando o termo “matéria escura” foi introduzido na ciência atual, retrocedemos à visão de Isaac Newton e à Lei da Gravitação Universal. Após esta Lei ser enunciada, pôde-se afirmar que as mesmas leis que regem fenômenos na Terra também regem os movimentos dos demais astros, unificando, assim, a Física terrestre e celeste. Então, observando o movimento dos planetas sob essa óptica, notaram-se discrepâncias entre a teoria (a previsão teórica) e a experiência; e, logo, houve quem levantasse a ideia da refutação da Teoria da Gravitação Universal (SANDERS, 2010). Porém, a comunidade científica indagava se esse movimento anômalo não se daria em decorrência da existência de outros planetas escuros, isto é, não observáveis. Um exemplo histórico foi o planeta Urano que sofria uma perturbação, observada por volta de 1820, em seu movimento. A partir de 1835 os astrônomos lançaram a hipótese da existência de um planeta transurânico, que foi explicada em 1846 pela detecção de um outro planeta, escuro, sendo este Netuno. Percebe-se que Netuno foi a matéria escura daquela época.

Stephen Hawking (2009) escreve sobre esse processo de evolução,

Isaac Newton forneceu-nos o primeiro modelo matemático de tempo e espaço no seu *Principia Mathematica*, publicado em 1687. (...) No modelo de Newton, tempo e espaço constituíam um fundo no qual se desenrolavam os eventos, porém sem serem afetados por eles. O tempo era separado do espaço (...). A Teoria da Relatividade de Einstein, que concorda com um grande número de experimentos, mostra que tempo e espaço são indissoluvelmente interconectados. Não se pode curvar o espaço sem também envolver o tempo. (HAWKING, 2009, p. 32-33).

O surgimento do conceito de matéria escura é muitas vezes remetido ao trabalho pioneiro de Fritz Zwicky³, em 1933, que determinou a massa do aglomerado de Coma – estrutura que contém entre centenas e milhares de galáxias mantidas agrupadas por sua mútua atração gravitacional; são as maiores estruturas conhecidas no Universo – baseado nas velocidades das galáxias que a compõe. É interessante notar que Zwicky usou os dados do desvio para o vermelho (*redshift*) que haviam sido

³ Zwicky, F. (1933), «Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln», *Helvetica Physica Acta*, 6: 110–127, Bibcode:1933AcHPh...6..110Z See also Zwicky, F. (1937), «On the Masses of Nebulae and of Clusters of Nebulae», *Astrophysical Journal*, 86, Bibcode:1937ApJ....86..217Z, doi:10.1086/143864 Acesso em: julho de 2023.

publicados por Milton Humason e Edwin Hubble, em 1931, para determinar as velocidades das galáxias. A partir das velocidades médias dessas galáxias, Zwicky utilizou o teorema de Virial para encontrar a massa do aglomerado. Quando a massa obtida, baseado nesse método, foi comparando com a massa inferida a partir da luminosidade do aglomerado e seu número de galáxias, Zwicky observou uma grande discrepância, concluindo que a massa deveria ser 400 vezes maior do que aquela observada pela matéria luminosa para explicar a velocidade das galáxias. Embora o cálculo de Zwicky não tenha sido tão preciso devido às incertezas, principalmente na constante de Hubble (hoje sabemos que ele excedeu uma ordem de grandeza), sua conclusão de que deveria existir muito mais matéria escura do que luminosa estava correta.

É importante notar que Zwicky não inventou o termo “matéria escura”. A análise feita nos trabalhos de (BERTONE, 2016; SWART, BERTONE, Van DONGEN, 2017; GOTT; TURNER; AARSETH, 1979) elucidam que ele apenas utilizou um termo que já era usado para designar corpos que não emitem luz. Por exemplo, Lord Kelvin, em 1884, já utilizava argumentos da teoria cinética dos gases aplicados à Via Láctea para constatar que parte da massa deveria ser escura. O que mudou foi que essa matéria era pensada como sendo estrelas frias, gases, corpos sólidos ou nebulosas que emitem baixa luminosidade; hoje está claro para a Astrofísica que a matéria escura não deve ser de origem bariônica, ou seja, não deve ser composta por matéria ordinária.

Nos anos posteriores a análise de novos aglomerados continuou indicando a presença de matéria escura, embora esse assunto ainda não tivesse ganhado muita importância para a comunidade científica da época. Foi só com o posterior desenvolvimento de novas tecnologias, capazes de realizar medidas mais precisas, e a recorrente observação de que a massa de objetos astronômicos não é suficiente para explicar tais medidas, que a matéria escura foi sendo incorporada como parte fundamental da Astrofísica Moderna.

Em especial, o observável mais importante e que despertou de forma mais consistente a atenção dos astrofísicos para a matéria escura foi a medida de curvas de rotação de galáxias, desenvolvidas principalmente nos anos 70 e 80 pelos astrônomos Vera Rubin e Kent Ford (RUBIN, 2006).

Em meados de 1970, Rubin e Ford realizaram um mapeamento dos braços espirais da Via Láctea e da galáxia de Andrômeda (M31), analisando as velocidades das estrelas em cada galáxia enquanto orbitavam seus núcleos galácticos. O foco do estudo foi nas estrelas localizadas mais distantes do centro de massa, onde a gravidade é mais fraca (RUBIN; FORD, 1970).

De acordo com a Lei da Gravidade de Newton, espera-se que a força gravitacional diminua proporcionalmente à distância do objeto que exerce a influência. Portanto, as estrelas mais distantes do centro da galáxia, de maior concentração de massa e atração gravitacional mais intensa, deveriam orbitar a uma velocidade mais baixa. Essa expectativa é consistente com o padrão observado em nosso Sistema Solar. No entanto, os resultados obtidos por Rubin e Ford revelaram valores inconsistentes em relação às teorias conhecidas (RUBIN; FORD, 1970; RUBIN; FORD; THONNARD, 1978).

Portanto, no ano de 1983, Rubin e sua equipe publicaram um artigo que abordava a questão da "massa perdida", com um foco específico na rotação das galáxias espirais. Nesse estudo, eles concluíram que a proporção aproximada entre matéria escura e matéria bariônica é de 6:1, ou seja, a quantidade de matéria escura é aproximadamente seis vezes maior do que a quantidade de matéria visível, como vimos, 23,3% : 4,6% (RUBIN, 1983).

Em suma, o Universo é composto por estruturas e processos visíveis, medíveis diretamente, a matéria visível ou bariônica, que é detectável em aceleradores de partículas, matéria esta que compõe os elementos químicos conhecidos da tabela periódica; e a segunda componente, denominada matéria escura, detectável apenas por interação gravitacional, porém não se conhece até o momento que tipo de matéria exótica a compõe (como dito, ela é invisível para nós até o presente momento); uma abordagem alternativa ao paradigma da matéria escura, conhecida como Modified Newtonian Dynamics (MOND), tem sido proposta como uma modificação da mecânica newtoniana para baixas acelerações. Essa perspectiva sugere uma reinterpretação da teoria newtoniana, em vez de introduzir uma nova forma de matéria; o terceiro tipo é a energia escura, também invisível e que é responsável, do ponto de vista cosmológico, pela expansão acelerada do Universo além de explicar as estruturas como aglomerados e superaglomerados, na densidade em que são apresentados nas imagens profundas como as capturadas mais atualmente pelo satélite Planck em

2013; estas últimas somam 95% da composição do Universo. Assim, vê-se que este campo está em construção. Existem grandes laboratórios como, por exemplo, os *Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS)*, na Itália, que dispõe de instrumentação científica sofisticada, sendo o maior centro de pesquisas subterrâneo, para desfrutar da proteção da radiação cósmica; fica localizado abaixo de uma montanha de pedra de mais de mil e quatrocentos metros, cuja construção teve início na década de 1980 e que congrega vinte e nove países ao redor do mundo. O LNGS dedica-se a experimentos de física subnuclear; à física dos neutrinos produzidos no Sol e em explosões de Supernovas, e, em especial, à busca da matéria escura.

3.2 Matéria escura

Conforme mencionado anteriormente, o modelo cosmológico amplamente aceito atualmente sustenta que logo após o Big Bang, o universo passou por uma expansão extremamente rápida. No entanto, se a matéria escura fosse composta de átomos, como a matéria comum, ela teria deixado evidências claras no "céu", conhecidas como radiação cósmica de fundo em micro-ondas (CMB), especialmente no início do universo. No entanto, não foram observadas tais evidências. Portanto, conclui-se que a matéria escura deve ser não-bariônica e ter características "escuras" (TAO, 2020). Além disso, a maior parte do deutério, isótopo do hidrogênio onde seu núcleo contém um próton e um nêutron, produzido no momento do Big Bang, diminuiu devido aos processos ocorridos nas estrelas. Se a matéria escura fosse composta de matéria normal, a quantidade adicional de bárions teria afetado a produção de deutério durante o Big Bang, resultando em uma abundância incompatível com a atualmente observada nas medições. A ausência completa de massa na forma de bárions entra em conflito com nossa compreensão do Big Bang.

A detecção direta da matéria escura tem sido um desafio para os astrônomos e astrofísicos, pois ela não interage diretamente com a luz ou outras formas conhecidas de radiação eletromagnética; os astrônomos têm utilizado a interação gravitacional da matéria escura para obter indícios de sua presença no universo e compreender melhor suas propriedades.

3.2.1 Formas de manifestação da matéria escura: as Lentes Gravitacionais

A gravidade desempenha um papel fundamental na investigação da matéria escura. Acredita-se que existam aglomerados e superaglomerados gigantes contendo uma quantidade significativa de matéria escura em seu interior. Essa concentração de massa dá origem ao fenômeno das lentes gravitacionais, no qual a luz se curva ao passar por regiões com alta quantidade de massa.

As lentes gravitacionais representam uma distorção no espaço-tempo causada pela presença de grande quantidade de massa entre a fonte de luz e nossos telescópios. Ao curvar o espaço-tempo, elas desviam o caminho da luz proveniente

de galáxias e aglomerados distantes. Esse fenômeno foi previsto por Albert Einstein na Teoria da Relatividade Geral (SILVA, 2017).

As primeiras observações da deflexão da luz foram realizadas ao verificarem que a posição das estrelas mudava à medida que passavam perto do Sol na esfera celeste; tais observações foram realizadas em 1919 por Arthur Eddington, Frank Watson Dyson e outros membros da equipe durante o eclipse solar total em 29 de maio daquele ano, feitas de forma simultânea nas cidades de Sobral, no Ceará, Brasil e nas Ilhas de São Tomé e Príncipe. Essas observações corroboraram experimentalmente a Teoria Geral da Relatividade (NUNES; QUEIRÓS, 2020).

Os astrofísicos e astrônomos consideram as lentes gravitacionais uma poderosa ferramenta para determinar a quantidade de matéria escura em regiões com alta concentração desta, pois é possível medir a distorção causada por sua possível existência. Além de serem fascinantes fenômenos do universo, as lentes gravitacionais são atualmente estudadas como lupas cósmicas capazes de ampliar o brilho e o tamanho de objetos distantes, datando dos estágios primordiais do universo (MARRA; QUARTIN; AMENDOLA, 2013).

Com o auxílio de equipamentos modernos e telescópios de grande porte, os cientistas têm tido a oportunidade de realizar observações mais detalhadas e aprofundadas desse fenômeno, permitindo avanços significativos em nosso entendimento da matéria escura (BRUMFIEL, 2003).

3.2.2 Tentativas de explicação da matéria escura

Como pontuado até aqui, a natureza da matéria escura ainda é objeto de intenso debate e pesquisa. Diversas hipóteses foram propostas para explicar suas características e observações relacionadas.

Uma das hipóteses levantadas é a Teoria de Bird, onde a matéria escura poderia ser composta por buracos negros supermassivos (HECHT, 2016). No entanto, estudos observacionais realizados por cientistas, ao analisarem o número necessário de massa para a formação desses buracos negros no universo primordial, indicam que eles não podem ser a única explicação para a matéria escura. Embora buracos

negros possam contribuir com uma pequena fração da matéria escura, acredita-se que não sejam responsáveis por sua totalidade.

Outra abordagem, proposta pelo astrofísico Viktor Ambartsumian em 1958, argumentava que as discrepâncias observadas poderiam ser atribuídas à ausência de "equilíbrio dinâmico" nos grupos e aglomerados de galáxias. Essa ideia sugeria que as galáxias estavam se afastando rapidamente umas das outras, resultando em dados peculiares. No entanto, essa explicação era problemática, pois grupos e aglomerados de galáxias não durariam mais do que alguns bilhões de anos, o que é considerado muito curto em relação à escala de tempo do universo. Além disso, a maioria dos aglomerados já teria se dissolvido, o que não é observado.

No entanto, é importante ressaltar que essas suposições e "erros" na busca pela compreensão da matéria escura desempenham um papel positivo no avanço científico. Por meio desses modelos e hipóteses, podemos estudar as estruturas do universo com maior detalhamento, buscando refutar ou confirmar essas ideias.

A Ciência, em particular a Física, possui uma natureza hipotética e tentativa. Uma vez que as hipóteses são formuladas, a comunidade científica daquela área se debruça em tentar corroborá-la de maneira experimental e cuidadosa, planejando experimentos ou empreendendo a busca de evidências. Quando uma teoria é refutada experimentalmente ou teoricamente, também impulsiona o crescimento da ciência, pois os cientistas aprofundam seus conhecimentos e desenvolvem novas abordagens para construir uma compreensão mais precisa do universo.

Como defende Bachelard, o erro não é fruto da imperícia, ao contrário, a retificação do erro permite reconstruir o pensamento científico, que deve permanentemente se questionar, desiludir-se com o conhecimento já existente. Essa é uma via profícua para romper a estagnação e abrir-se ao novo.

Um aspecto notável da Cosmologia é sua interdisciplinaridade, abrangendo várias áreas da Física. Graças aos avanços na física teórica, especialmente na Física de Partículas, surgiram dois modelos potenciais para explicar a natureza das partículas de matéria escura, como veremos a seguir: os WIMPs e os Axions.

Passamos a apresentar algumas partículas hipotéticas, candidatas a matéria escura.

WIMPS (Weakly Interacting Massive Particles)

WIMPs, que significa "partículas massivas fracamente interagentes", do inglês Weakly Interacting Massive Particles - WIMPs, surgem como um conceito derivado da Física de Partículas, mais especificamente da teoria da supersimetria. A supersimetria é uma extensão do Modelo Padrão da Física de Partículas que postula a existência de "super parceiras" mais massivos para cada partícula conhecida (TAO, 2020).

No contexto do modelo que propõe as WIMPs como candidatas para a matéria escura, acredita-se que elas sejam partículas estáveis, sem carga elétrica e interajam de forma extremamente fraca com a matéria comum, ou seja, têm uma interação muito fraca com outras formas de matéria. Essa característica as tornam candidatas promissoras para a matéria escura, pois se espera que possuam propriedades que permitam uma interação gravitacional significativa, mas com uma interação muito reduzida com outros tipos de matéria (CONRAD, 2017).

De acordo com a teoria da supersimetria, as partículas conhecidas como WIMPs são esperadas ser centenas de vezes mais massivas do que um próton. Essas são as partículas que os físicos têm buscado ativamente, levando ao desenvolvimento de detectores altamente sensíveis em espaçonaves, na Terra e em laboratórios subterrâneos (TAO, 2020). No entanto, até o momento, a detecção direta dessas partículas ainda não foi alcançada.

Um dos principais objetivos do Grande Colisor de Hádrons (LHC), localizado no CERN (Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear) próximo a Genebra, na fronteira entre Suíça e França, é justamente a detecção de WIMPs. O LHC é um grande acelerador de partículas construído em um consórcio de países europeus. Por meio de cálculos teóricos, os cientistas indicam que o LHC tem o potencial de criar partículas candidatas a matéria escura, o que auxiliaria na restrição dos modelos cosmológicos propostos pelos cosmologistas (CONRAD, 2017).

Experimentos e observações (detecção direta)

Os WIMPs podem ser detectados por meio de um método conhecido como recuo nuclear. Nestes experimentos, os núcleos dos átomos-alvo estão localizados em cristais metálicos. Quando uma partícula de matéria escura colide com um núcleo atômico, ocorre um recuo no núcleo, o que resulta na emissão de luz. Essa luz é então detectada por um dispositivo sensível (LIU, CHEN, JI, 2017). No entanto, os físicos enfrentam uma grande dificuldade nesses experimentos, que é distinguir um sinal de matéria escura em meio ao ruído de fundo gerado pelas radiações terrestres captadas pelo detector (TAO, 2020).

Por essa razão, os experimentos realizados em ambientes subterrâneos são extremamente importantes. Eles buscam minimizar as interferências do ruído de fundo, aumentando assim a chance de detectar sinais claros de matéria escura (CONRAD, 2017). Os núcleos-alvo nesse tipo de colisão são geralmente elementos como argônio, xenônio ou iodeto de sódio. Esses materiais são resfriados a temperaturas próximas do zero absoluto durante o experimento, o que facilita a detecção de pequenas quantidades de energia transferidas da matéria escura para a matéria comum (LIU, CHEN, JI, 2017). Esse tipo de detecção direta difere das formas indiretas de detecção de matéria escura, onde os cientistas investigam os resultados das aniquilações dessas partículas. Um exemplo disso são os detectores de neutrinos localizados no Pólo Sul, que buscam detectar neutrinos provenientes dessas aniquilações no Sol.

DAMA (Gran Sasso Dark Matter)

Um grupo de pesquisadores italianos, conhecido como DAMA, afirma ter detectado repetidamente partículas de matéria escura há quase 30 anos. No entanto, o método utilizado por esse grupo difere um pouco dos experimentos realizados em outros lugares ao redor do mundo. Em vez de eliminar o ruído de fundo do experimento (que são as interações e interferências não relacionadas à matéria escura), os

pesquisadores do DAMA registram todas as ocorrências e procuram por variações anuais nos cristais de iodeto de sódio usados nos experimentos (HECHT, 2016).

As principais fontes de ruído de fundo nesses experimentos incluem impurezas de rádio nos materiais de construção do detector, nêutrons, reações de fissão, raios cósmicos e seus produtos secundários (BERNAL, NECIB, SLATYER, 2016). Existem muitas outras possíveis causas para as "impurezas" observadas nos experimentos, mas, para simplificar, mencionamos apenas essas.

CDMS (Cryogenic Dark Matter Search)

No laboratório CDMS (Cryogenic Dark Matter Search), localizado a 713 metros abaixo da mina Soudan, são utilizados discos de germânio ou silício resfriados quase ao zero absoluto. O principal objetivo desse experimento é buscar a detecção de um núcleo que tenha recuado de uma colisão com uma partícula de matéria escura, conhecida como WIMP (partícula massiva de interação fraca). Os pesquisadores monitoram cada disco em busca de um pulso de eletricidade combinado com um pulso de calor, o que seria um indício da interação com um WIMP.

Os resultados obtidos pelo CDMS sugerem que os WIMPs possuem uma massa cerca de oito vezes maior do que a massa dos prótons, o que difere das previsões teóricas convencionais.

AXIONS

A hipótese dos Axions propõe a existência de uma partícula elementar que pode explicar certas simetrias das interações fortes que conectam os quarks, os componentes fundamentais dos prótons e nêutrons. Em um ambiente com um campo magnético intenso, os Axions podem se converter em fótons de micro-ondas. Embora haja debates científicos em torno dessa teoria, avanços na tecnologia dos instrumentos de pesquisa têm permitido a obtenção de resultados promissores em apoio aos Axions. No entanto, até o momento, eles ainda não foram detectados de maneira conclusiva.

Diversos estudos têm sido conduzidos nessa linha de pesquisa. Por exemplo, o experimento realizado por DU et al. (2018) relata a detecção de partículas de matéria escura que poderiam ser Axions de baixa massa, com um nível de confiança de 90% no acoplamento axion-fóton. Os autores consideram que esse experimento representa uma nova era na busca sensível por matéria escura axiônica de baixa massa. Outro estudo conduzido por Lee et al. (2020) utiliza o holoscópio CAPP-8TB para pesquisar a matéria escura Axion e relata resultados que são sensíveis ao acoplamento axion-fóton, na faixa de massa axion entre 6,62 e 6,82 μeV , com um nível de confiança de 90%. Os pesquisadores afirmam que esses resultados representam a sensibilidade mais alta alcançada até o momento dentro dessa faixa de massa.

3.3 Energia escura

Estudos a partir da observação de supernovas

A concepção de um universo em expansão acelerada é relativamente recente, remontando ao ano de 1998, quando estudos envolvendo supernovas foram realizados. Um grupo de astrônomos liderado por Perlmutter e uma segunda equipe liderada por Brian Schmidt, do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley e do High-z Supernova Search Team, mediram a distância entre a Terra e estrelas em explosão, especificamente supernovas do tipo Ia (BASSALO, 2012). Essas supernovas são categorizadas pela presença de um pico distintivo de luminosidade ao explodirem, o que as torna objetos astronômicos interessantes para a medição de distâncias, uma vez que suas luminosidades absolutas são conhecidas. Durante a fase de pico de luminosidade, o espectro dessas supernovas é caracterizado pela emissão dos elementos cálcio, enxofre e silício, e pela ausência das linhas de hidrogênio, pois esgotaram sua reserva desse elemento durante sua evolução.

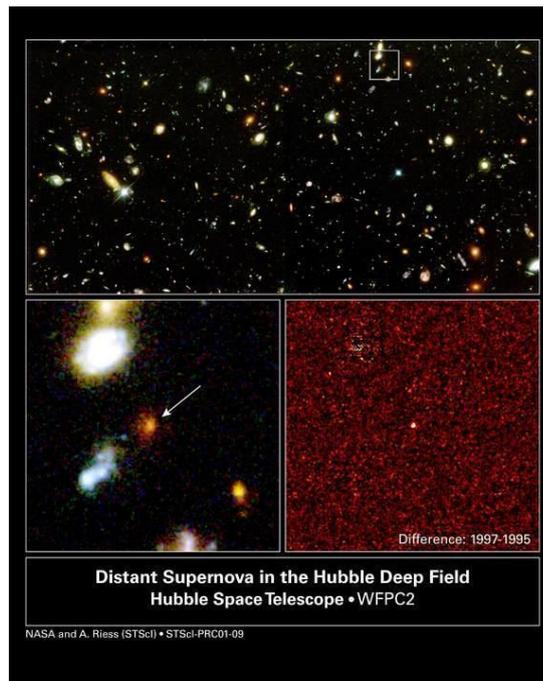
Dado que as condições iniciais são bastante homogêneas para essa classe de supernovas, elas se tornam boas candidatas para serem utilizadas como "velas padrão", que são parâmetros para calcular distâncias cósmicas até as galáxias em

que ocorrem, incluindo as regiões mais distantes do universo (LIVIO, 2013). Todas as supernovas do tipo Ia possuem a mesma potência intrínseca, sendo que as mais fracas estão mais distantes e as mais brilhantes estão mais próximas. Portanto, por meio da medida de seu brilho, é possível determinar a distância entre essas supernovas e entre elas e nós.

As equipes lideradas por Perlmutter e Brian Schmidt adotaram uma abordagem para medir a distância das supernovas do tipo Ia, que são essencialmente explosões de estrelas em sistemas binários, onde ocorre uma transferência de massa da estrela maior para a menor. Quando a estrela menor atinge uma massa crítica de aproximadamente 1,44 vezes a massa do Sol, ocorre um colapso e uma poderosa explosão conhecida como supernova. A Figura 3 refere-se à Supernova 1997 ff do tipo Ia.

Ao observar a cor da luz emitida pelas explosões, as equipes puderam inferir a distância de cada supernova até nós. Geralmente, objetos mais distantes aparecem com um desvio para o vermelho, conhecido como "redshift", que é uma medida comum de distância usada na astronomia moderna.

Figura 3: Imagem de Supernova Ia (1997 ff)



Fonte: [Hubble Spies Most Distant Supernova Ever Seen](#). Acesso: Jul/2023.

Assim, as equipes de Perlmutter e Schmidt compararam as medições de brilho das explosões com as leituras de redshift e descobriram que as supernovas pareciam estar mais distantes da Terra do que indicava o redshift. Isso levou à conclusão de que algo totalmente novo e misterioso, contrário às expectativas da Física, está causando uma expansão acelerada do Cosmos, em vez de uma expansão desacelerada. Essa descoberta representou um marco significativo na cosmologia dos últimos anos e indica a existência de uma forma de energia distribuída por todo o espaço, chamada de "energia escura". Essa energia exerce uma influência que tende a acelerar a expansão do universo, desafiando a capacidade da gravidade de atrair e frear a matéria em grande escala após a expansão inicial do Big Bang (CALDWELL, KAMIONKOWSKI, 2009).

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

A presente dissertação contemplou duas etapas de estudos e análises:

1) a primeira etapa consistiu em uma revisão de literatura aprofundada sobre estudos relacionados à teorização e detecção de matéria e energia escuras, o que contribuiu com o aprofundamento conceitual e uma melhor compreensão da área e das pesquisas em andamento; buscamos também por trabalhos que usassem de estratégias ao ensino de FMC em aulas de Física, relacionados com a abordagem epistemológica da ciência com base na visão de Bachelard (1996).

2) a segunda etapa se deu pela construção de uma unidade didática (UD) guiada pela revisão e aprofundamento teórico decorrentes da etapa precedente; uma vez construída a unidade didática e preparados/selecionados os materiais fizemos sua aplicação em sala de aula do EM, como é detalhado no Capítulo 5, e na sequência procedemos à análise dos efeitos dessa aplicação.

A primeira etapa, mais teórico-bibliográfica envolveu consulta⁴ a artigos buscados em bases de dados e em algumas revistas reconhecidas na área de Pesquisa em Ensino de Física, incluindo, eventualmente, repositórios acadêmicos de teses e dissertações, livros didáticos e Internet, visando buscar trabalhos que abordassem a Física Moderna e Contemporânea, e investigações que enfatizassem a epistemologia de Bachelard e o contexto da ciência na busca da resolução do enigma Matéria e Energia Escuras e o futuro da Cosmologia.

Além disso, foram aprofundados estudos em obras originais de nossos referenciais teórico-epistemológico (Bachelard e Moreira).

A revisão da literatura foi conduzida por meio do mapeamento de trabalhos, onde optamos por buscar e analisar artigos acadêmicos e publicações em anais de eventos ou congressos. Utilizamos descritores em inglês e português, também incluímos trabalhos em espanhol, dado que os descritores empregados podem englobar artigos em diversos idiomas. Os descritores abordados foram: “Matéria

⁴ Todos os trabalhos já analisados estão citados nas Referências.

Escura”, “Energia Escura”, “Epistemologia da Ciência”, “Aprendizagem Significativa Crítica e Física Moderna e Contemporânea”. Em parceria com o aluno de Iniciação Científica, mapeamos, procedemos à leitura e resumimos os artigos considerados relevantes para a pesquisa. Inicialmente selecionamos pela leitura do título e resumo, posteriormente fizemos leitura integral dos trabalhos. Não aplicamos filtros temporais para os descritores “Matéria Escura” e “Energia Escura”, dada a natureza emergente do tema, a nosso pressuposto epistemológico de que esse campo está em construção. Para os demais descritores, restringimos a busca aos últimos 25 anos, com o objetivo de abranger trabalhos pertinentes para o ensino de Física.

Tendo em vista a inexistência de uma teoria explicativa consolidada para a “matéria escura” e “energia escura” e, como grande parte dos artigos selecionados (foram lidos e analisados 56 artigos de Revistas Qualis A1 a B2, sobre os avanços das últimas décadas a respeito do que poderia ser a matéria escura; como sabemos de sua existência; as técnicas e experimentos realizados na tentativa de sua detecção e, em especial, as hipóteses mais aceitas do ponto de vista da expansão do Universo e a existência de energia escura) têm uma linguagem técnico-teórica aprofundada, entendemos que, do ponto de vista didático, um caminho capaz de atender especialmente requisitos da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, foi procedermos à construção de um Texto de Apoio (Apêndice G). Este material foi desenvolvido a fim de apresentar os conceitos e princípios científicos através de uma linguagem mais familiar aos estudantes do Ensino Médio, além de reunir e explicitar as principais hipóteses explicativas (e.g., os Axions de baixa massa; os Wimps etc.). Foi realizada a leitura de um livro, de autoria de Lisa Randall, intitulado “O universo invisível: matéria escura, dinossauros e a surpreendente conectividade do mundo”. A autora é pesquisadora na área da Matéria Escura, e sugeriu a hipótese de que o “impacto” gravitacional da matéria escura poderia “desviar” a trajetória de grandes corpos em direção à Terra, o que pode ter sido a razão da extinção dos Dinossauros. Essa hipótese também foi colocada no Texto de Apoio, especialmente para ilustrar a natureza não linear da ciência e como o paradigma da “Matéria Escura” ainda está em construção. O livro também se preocupa em explicar conceitos fundamentais da Cosmologia.

Ao adentrar no estudo empírico, o livro intitulado “The dark matter problem a historical Perspective”, do astrônomo Robert H. Sanders (2010), foi uma das principais

referências acerca do entendimento do desenvolvimento da ciência no que tange à matéria escura, por estar diretamente ligado a esta construção histórica. Sanders comenta em seu livro:

Durante a maior parte da minha carreira, nos últimos 40 anos, estive envolvido – às vezes de forma periférica, muitas vezes diretamente – na pesquisa sobre a discrepância entre a massa detectável de sistemas astronômicos e a massa dinâmica newtoniana inferida. (SANDERS, 2010, p. 11)

Outro livro que teve grande contribuição nesta pesquisa, acerca do conceito da energia escura a partir de um viés histórico, é intitulado "Brilliant Blunders: From Darwin to Einstein - Colossal Mistakes by Great Scientists That Changed Our Understanding of Life and the Universe" do astrofísico Mario Livio (2013), onde no prefácio ele traz: "*Meu objetivo era simples: corrigir a impressão de que descobertas científicas são histórias de puro sucesso*" (LIVIO, 2013, p. 9).

O desenvolvimento de uma unidade didática (UD) foi centrado na construção de uma sequência de aulas (com uso de estratégias diversificadas) que foram ministradas em uma turma do Ensino Médio de uma escola da rede pública do Paraná, fornecendo aos alunos, além de aulas dialogadas, material de apoio. Fizemos também uma sondagem para coleta de dados a fim de mapear o nível de compreensão do tema, ou mesmo a presença de conhecimento prévio, segundo o referencial teórico adotado, a Aprendizagem Significativa Crítica (MOREIRA, 2011).

Contudo, isso seria insuficiente, pois assumimos que o aprendiz não dispõe apenas da dimensão cognitiva, ele é um ser integral: pensa, age e sente. Desta forma, as problematizações iniciais e as estratégias precisaram ser diversificadas, centradas mais na ação dos sujeitos e menos no professor-expositor, no uso do quadro, no uso da narrativa, no uso do livro de texto, que são alguns dos princípios da aprendizagem significativa e crítica (MOREIRA, 2010).

Buscamos construir planos de aula de forma que a intervenção fosse alinhada com os conhecimentos prévios, mas os problematizando e superando-os.

Ao final da aplicação da UD, novamente foi aplicado um questionário, o Questionário Final (Apêndice B) que foi distribuído e preenchido pelos alunos para fins de obtenção de dados e *feedbacks*.

Toda a aplicação da Unidade Didática fez uso de caderno de campo para anotações diárias, além de gravações em áudio, mediante autorização dos pais e

responsáveis dos estudantes (assinatura dos Termo de Assentimento Livre e Esclarecido - TALE; e do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE, conforme exigência da Comissão de Ética da UFRGS), mostrados no Apêndices D e E.

Trata-se de uma pesquisa qualitativa em educação, e o tratamento dos resultados foi interpretado mediante referencial epistemológico de Bachelard, em parte, mediante a valorização e correção do erro, por exemplo, buscando incorporar os pressupostos filosóficos ao estudo. Também buscamos identificar e refletir possíveis obstáculos epistemológicos que, na análise das respostas, foram detectados.

Os dados das distintas etapas do Estudo Empírico foram analisados qualitativamente, nos fundamentando principalmente nas concepções de Creswell (2014). Para o autor, a análise dos dados pode ser entendida como um processo contínuo, preferencialmente ocorrendo de forma simultânea com a coleta [dos dados]; tal dinâmica permite ir colocando novos questionamentos à medida que se avança a aplicação, sendo que as questões podem ser respondidas por meio da análise, que pode sugerir novas coletas. A análise envolve uma sequência de passos estruturados que estão mais bem descritos no Capítulo 5 e 6 deste trabalho.

Em suma, nossa pesquisa visou uma abordagem tanto conceitual como prática. Após os estudos de aprofundamento teórico, epistemológico e bibliográfico buscamos uma escola que aceitasse a implementação da Unidade Didática (UD). O referencial teórico sugeriu iniciar com questionário, neste caso preparamos e aplicamos o Questionário Inicial, que mapeou minimamente os subsunçores dos estudantes. Desta forma, a preparação e aplicação desse mapeamento constitui uma forma de coleta de dados, o qual foi analisado também no Capítulo 6. As características do espaço escolar, da turma, bem como o conteúdo da UD e a forma como ocorreu sua aplicação são objeto dos próximos capítulos.

5. DELINEAMENTO DA PESQUISA E PRÁTICA ESCOLAR

5.1 Caracterização da Escola

Por residirmos, no período da pesquisa, na cidade de Guarapuava, Estado do Paraná, escolhemos e contactamos uma escola da rede pública e passamos por um processo de aprovação junto à Coordenadoria Regional e Secretaria de Educação do Estado do Paraná.

O Colégio Visconde de Guarapuava foi o escolhido; possui uma infraestrutura de excelência, evidenciada desde a aparência externa do prédio, com pintura bem conservada, iluminação noturna e um jardim meticulosamente cuidado. Ao adentrarmos o edifício, deparamo-nos com uma portaria permanentemente disponível, na qual os alunos estão impedidos de transitar para fora do colégio sem autorização. O local é inteiramente monitorado por câmeras de segurança, cujos dispositivos estão situados na sala da direção, proporcionando controle organizacional e garantindo a segurança de todos envolvidos. As imagens da Figura 4 foram realizadas pela pesquisadora.

Figura 4: Foto a esquerda sendo a entrada principal do Colégio; foto direita capturando o ambiente escolar mais geral.



Fonte: fotos realizadas pela pesquisadora, em 2023

No âmbito pedagógico, há uma sala multiuso dedicada a professores e alunos, na qual estes podem se reunir, organizar seu material e desenvolver suas atividades

extraclasse. Adicionalmente, a instituição conta com *kit Educatron*⁵ em cada sala de aula e nas salas de uso social, que compreende uma *smart TV* de 43 polegadas, *webcam*, microfone, teclado com *mouse pad* e um pedestal regulável, como mostrados na Figura 5.

Ademais, é adotado um código de vestimenta com uniforme para os alunos. As salas de aula apresentam-se em ótimas condições, com cadeiras, mesas e quadro bem preservados. Cada sala é equipada com um *kit Educatron*, caixas de som e um projetor acompanhado por uma tela branca de fundo para projeção de *slides*.

Ressaltamos que, em virtude desta pesquisa ser vinculada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS e não possuir um vínculo direto com as escolas da rede pública do Estado do Paraná, foi necessário um processo de aprovação junto à Comissão de Ética de ambos os Estados, conforme exigência da Secretaria de Educação do Governo do Paraná. Esse processo de aprovação demandou aproximadamente seis meses para sua conclusão, garantindo assim a conformidade desta pesquisa com as normas éticas de pesquisa no ambiente escolar.

O projeto de pesquisa que embasou esta investigação foi aprovado na Comissão de Ética da UFRGS sob o número 5.993.557.

⁵ [Colégios estaduais recebem 25 mil kits Educatron, com TVs e computadores | Secretaria da Educação](#) Acesso em: julho de 2023.

Figura 5: À esquerda, o *kit Educatron*; à direita pode-se ver a tela do *Educatron*, além da caixa de som, projetor e tela de fundo branco para o projetor; abaixo vista da sala de aula.



Fonte: Fotos realizadas pela pesquisadora, em 2023, em duas salas do Colégio.

Outro aspecto relevante diz respeito ao tempo que nos foi disponibilizado para a aplicação da Unidade Didática. A Secretaria da Educação do Paraná estabelece uma ementa rigorosa quanto ao cumprimento do conteúdo programático anual, especialmente após o período de aulas remotas decorrente da pandemia de COVID-19. Sendo assim, foi concedido um total de apenas quatro (4) horas/aula para a implementação desta Unidade Didática, o que representou um fator determinante na definição de como a UD seria desenvolvida, tendo em vista a restrição de tempo significativa.

5.2 Contextualização da aplicação da Unidade Didática

Para fins deste estudo, foi selecionada a turma 3C do terceiro ano do Ensino Médio, composta inicialmente por 42 alunos matriculados, embora o número de presenças durante as aulas tenha sido um pouco inferior.

No que diz respeito à aplicação da Unidade Didática, é importante mencionar que devido ao tempo limitado de quatro horas/aula ao total, o conteúdo precisou ser direcionado para os aspectos essenciais a serem discutidos em sala de aula, ficando muito aquém do que pretendíamos inicialmente. Os alunos tiveram acesso tanto ao material do Texto Apoio, originalmente chamada Apostila, desenvolvida durante o mestrado com apoio de um estudante de Iniciação Científica na UFRGS, quanto às aulas em *slides* com os *links* externos para vídeos e simulações vistas em aula, de forma a terem todo o conteúdo disponível.

Antes do período de intervenção em sala, a professora regente entregou aos alunos os seguintes documentos: Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). O TALE foi assinado pelo aluno, indicando sua participação na pesquisa, enquanto o TCLE foi assinado pelos responsáveis legais ou pelo próprio aluno, caso fosse maior de 18 anos.

O primeiro contato com a turma ocorreu somente na primeira aula, não sendo autorizada a minha presença anteriormente para que eu pudesse entregar o primeiro questionário e estabelecer um contato inicial para me familiarizar com a turma.

Essa situação também se configurou como um desafio, uma vez que o trabalho realizado esteve fundamentado no aporte teórico da Aprendizagem Significativa Crítica, que requer o mapeamento dos subsunçores e o desenvolvimento de uma aula que contribua para a aprendizagem significativa. Devido a esse atraso no mapeamento, só foi possível realizá-lo a partir da segunda aula, com as respostas obtidas no questionário informativo.

Um segundo desafio foi o atendimento às recomendações do Comitê de Ética, que sugeriam que houvesse um período de convivência (de observação) para conhecer a turma e minimizar constrangimentos, melhorando as relações professor-aluno. Tal período de observação não foi realizado em função das restrições colocadas pela instituição escolar.

5.3 Caracterização da Turma

Antes da implementação da Unidade Didática (UD), a professora regente informou-nos sobre uma lei estadual que restringe o uso de celulares em sala de aula, permitindo aos alunos utilizá-los apenas com autorização do professor. Além disso, ela mencionou que a turma 3C era altamente engajada no conteúdo, estando adiantada em relação às demais, o que levou a professora a disponibilizar essa turma para a nossa pesquisa.

As aulas foram ministradas às terças-feiras, no segundo período (8h20min - 9h10min), e às sextas-feiras, no quinto e último período (11h10min - 12h). Durante as aulas, observamos que os alunos, de fato, respeitavam a lei mencionada, evitando o uso dos celulares durante as aulas. Além disso, como foi minha primeira interação com os alunos, eles não se aperceberam imediatamente que eu era/seria a professora de Física naquele período; portanto, quando precisavam, por exemplo, sair para ir ao banheiro ou entregar os formulários TALE e/ou TCLE, dirigiam-se à professora regente da escola e não a mim.

5.4 Construção da Unidade Didática (UD)

Sob o contexto citado nas seções precedentes, a construção da UD foi bastante desafiadora pela questão do tempo que nos seria permitido ficar em sala de aula. Para um período de aplicação tão reduzido, foi possível configurar uma unidade didática contendo quatro (4) horas/aula, distribuídas em duas (2) semanas de aula, e contendo quatro (4) tópicos, conforme o cronograma a seguir.

Esta seção explicita os quatro temas desenvolvidos na UD; apresentamos também os planos de aula detalhados, e após cada plano fazemos um relato da prática em sala de aula, exprimindo os pontos mais relevantes da vivência dos alunos durante a aula.

Como era o objetivo de nossa investigação, a unidade didática foi estruturada em torno do tema da Matéria e Energia Escura, levando em consideração orientações

e cuidados do referencial teórico-epistemológico descrito no Capítulo 2, bem como as respostas obtidas no questionário informativo inicial, aplicado durante a primeira aula.

As respostas dos alunos indicaram uma curiosidade e um grande interesse em aprender os temas propostos.

Esse mapeamento inicial permitiu alinhar o conteúdo da UD com os conhecimentos prévios dos alunos, criando um ambiente propício para uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2010). A partir dessa base, foram explorados conceitos-chave relacionados à Matéria e Energia Escura, abrangendo tanto aspectos teóricos quanto históricos, com o objetivo de fornecer aos alunos uma compreensão abrangente e reflexiva desses temas complexos e em construção.

Entendemos que uma abordagem histórica do desenvolvimento do conhecimento sobre a teoria do *Big Bang* é fundamental para compreendermos como os cientistas chegaram às conclusões atuais e como revelaram-se os paradigmas da Matéria e Energia Escura. É importante destacar que, ao longo dessa jornada, os cientistas também cometeram erros e passaram por diversas revisões conceituais (SANDERS, 2010; LIVIO, 2013; BERTONE, 2016; BACHELARD, 1996).

Ao explorar essa história, à luz da “Filosofia do Não” de Bachelard (1996), podemos perceber que a forma como o *Big Bang* é popularmente resumido nem sempre reflete toda a complexidade dos eventos ocorridos.

Nesse sentido, é de grande relevância apresentar aos alunos que os conceitos físicos estudados no Ensino Médio, como as ondas eletromagnéticas, a lei da gravitação de Newton, as leis de movimento dos planetas de Kepler e o efeito Doppler, desempenham um papel fundamental na compreensão da Cosmologia. Ao reestruturarmos a aula convencional e introduzirmos, segundo Ostermann e Moreira (2001), por meio de uma abordagem da FMC, a teoria da Relatividade Geral de Einstein, podemos ampliar o entendimento sobre como a luz das estrelas e galáxias se comporta no espaço-tempo.

Esses conceitos permitem aos alunos compreenderem como as ondas eletromagnéticas, incluindo a luz, sofrem deslocamentos de frequência e comprimento de onda devido ao movimento relativo entre a fonte emissora e o observador, conforme explicitado no efeito Doppler. Além disso, a lei da gravitação de Newton e as leis de Kepler possibilitam investigar a dinâmica dos corpos celestes, incluindo a

relação entre a massa e o raio das órbitas dos planetas, aplicável à dinâmica de rotação das galáxias.

Ao explorar tópicos como a Relatividade Geral, os estudantes podem compreender como a presença de massa e energia no Universo curva o espaço-tempo, afetando o trajeto da luz e proporcionando pistas valiosas sobre a expansão do Universo, a velocidade de afastamento das galáxias e até mesmo a radiação cósmica de fundo.

Assumimos que essa abordagem que integra conceitos da Física à Cosmologia, sob um viés histórico, proporciona aos alunos uma visão mais completa e atualizada da conexão entre a Física estudada no Ensino Médio e as grandes questões da ciência contemporânea. Além disso, estimula o pensamento crítico, a curiosidade científica e o interesse em compreender como o conhecimento científico é construído e evolui ao longo do tempo, em outras palavras, desenvolve a crítica e o espírito científico.

O verdadeiro espírito científico, para Bachelard (1996), advém de um problema que necessita de resposta, só assim se pode, de fato, avançar o conhecimento científico. Partindo deste preceito, ao incorporar a epistemologia bachelardiana, a UD buscou identificar e superar os obstáculos epistemológicos e promover uma aprendizagem significativa, utilizando os conhecimentos prévios dos alunos como ponto de partida. Além disso, a perspectiva crítica foi incentivada, especialmente em relação ao papel do desenvolvimento científico-tecnológico, alertando que pode ser tanto utilizado para gerar avanços na ciência e na sociedade quanto, por exemplo, para fins militares ou outros objetivos.

Dentro desse contexto histórico, em que os cientistas do século XX enfrentaram duas guerras mundiais, buscamos explorar, sempre que possível, os impactos das instituições militares na ciência e na tecnologia. Por exemplo, discutimos como os radiotelescópios, inicialmente desenvolvidos para fins militares, foram posteriormente utilizados para pesquisas científicas, como a observação da radiação da linha de 21 cm do hidrogênio neutro.

Também foram realizadas discussões críticas sobre o papel da ciência nesse contexto, reconhecendo as nuances e dilemas éticos envolvidos. A unidade proporcionou um espaço para reflexões críticas sobre a relação entre ciência, tecnologia, guerra e desenvolvimento científico, incentivando os alunos a pensarem

de forma mais ampla sobre o impacto da ciência na sociedade (CAMPOS; NÓBILE, 2019).

As aulas tiveram como objetivo despertar o espírito científico nos alunos e promover uma aprendizagem significativa e crítica dos conceitos e suas implicações. De acordo com Bachelard (1971), é fundamental conciliar a matemática e a experiência para uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos. Além disso, seguindo a abordagem de Moreira, as discussões foram direcionadas a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, buscando relacionar os conteúdos abordados com suas experiências e conhecimentos pré-existentes, mas problematizando suas experiências primeiras, em geral, ingênuas. Esses referenciais teórico-epistemológicos foram constantemente utilizados para alcançar os objetivos propostos.

Todas as aulas foram ministradas utilizando *slides*, e o conteúdo visual completo está disponível no Apêndice H. Além disso, o Texto de Apoio⁶ intitulado “Matéria Escura e Energia Escura: uma revisão da literatura sobre um dos maiores enigmas da Física e Cosmologia contemporâneas” (RAMIRES, MASSONI, MORIGGI, 2022) foi fornecido aos alunos como suporte teórico, com uma explicação detalhada dos conceitos mais complexos. Os alunos foram incentivados a ler o material, pois o tempo em sala de aula era limitado e não era necessário copiar as informações, uma vez que todo o material estava disponível para eles.

5.5 Cronograma da Unidade Didática

Mostramos no Quadro 1 o cronograma da unidade didática, composto por quatro aulas. Na primeira aula realizamos uma apresentação informal e pessoal para os alunos, na qual a pesquisadora se apresentou e entregou o Questionário Inicial, antes de introduzir os tópicos. Dessa forma, as respostas dos alunos não seriam influenciadas pela aula que seria ministrada posteriormente.

⁶ http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v33n1.pdf Apêndice G.

Quadro 1: Cronograma das aulas da UD.

Aula	Data	Conteúdos a serem trabalhados	Objetivos de ensino e pesquisa	Estratégia de Ensino
1	09/05/23	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentação do Cronograma; - Construção do Calendário Cósmico e o endereço cósmico da Terra; - Formação dos elementos da tabela periódica a partir das Estrelas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aproximar a disciplina [Física] da vida cotidiana, como um simples olhar para o céu pode engajar alunos; - Fomentar a interdisciplinaridade entre Física, Biologia e Química; - Encorajar os alunos com reflexões acerca da existência humana no Universo. 	<ul style="list-style-type: none"> Exposição dialogada Projeção de slides
2	12/05/23	<ul style="list-style-type: none"> - Formulação da teoria do Big Bang sob contexto histórico; a constante cosmológica de Einstein e o seu maior erro; - Expansão acelerada do Universo e a Energia Escura; - Espectroscopia; - Efeito Doppler. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sob o ponto de vista epistemológico, traçar a história da teoria do Big Bang, abordando um paralelo entre o que se popularizou sobre as descobertas e como, de fato, a história foi construída; elucidar que a ciência não é sempre assertiva, ilustrando com a constante cosmológica de Einstein e a Energia Escura; - Paradigma de Energia Escura; - Expansão acelerada do Universo. 	<ul style="list-style-type: none"> Exposição dialogada Projeção de Slides
3	16/05/23	<ul style="list-style-type: none"> - Primeiras evidências da Matéria Escura sob viés epistemológico; - Como a ciência avança com o progresso da 	<ul style="list-style-type: none"> - Demonstrar como na Física as interações que são observadas podem inferir novos conhecimentos; - Primeiras inserções sobre a 	<ul style="list-style-type: none"> Exposição dialogada Projeção de Slides

		tecnologia.	Matéria Escura na ciência; - Mostrar como nasceu o paradigma da Matéria Escura comparando teoria e observação, com o limite da Lei de Gravitação de Newton com a Teoria da Relatividade Geral	
4	26/05/23	- Estrutura dos elementos da tabela periódica e o Modelo Padrão; - As forças fundamentais; - O enigma da Matéria Escura e seus principais candidatos; - Lentes Gravitacionais; Espectroscopia de Raios-X; Teoria do MOND; - Discussão sobre o futuro da ciência sob o paradigma da Matéria e Energia Escura.	- Com o objetivo de ao final da aula mostrar quais são/foram os candidatos a matéria escura, foi necessário mostrar a estrutura da matéria, com breve explicação do Modelo Padrão, e retomar as quatro forças fundamentais, depois mostrar os possíveis candidatos; - Discussão do que poderá ser a Matéria Escura e possível modificação ou ampliação da Física.	Exposição dialogada Projeção de Slides

Fonte: Elaborado pela pesquisadora, em 2023.

Na próxima seção apresentamos os planos de aula seguidos de relatos que buscam oferecer um panorama dos principais acontecimentos e a dinâmica de sala de aula que conseguimos estabelecer.

5.6 Elaboração de Planos de Aula e Aplicação da Unidade Didática

Como já referido, cada um dos planos de aula que elaboramos é seguido de um relato da aplicação em sala de aula, com registros do nível de participação dos estudantes.

5.6.1 Plano de Aula 1 - Apresentação da Teoria do Big Bang e o Endereço Cósmico da Terra

Data: 09/05/2023 - 1 hora/aula

Alunos presentes: 35

Conteúdo: Teoria do *Big Bang*

Objetivos de ensino: Traçar um panorama geral da história do Universo e localizar cosmicamente a Terra. Mostrar que observar o céu é observar o passado e compreender o nosso entorno.

Atividade Inicial: Apresentação pessoal, seguida da entrega do Questionário Informativo (Inicial - conhecimentos prévios) aos alunos. Explica-se que as respostas serão levadas em consideração nas próximas aulas e terão grande relevância para o desenvolvimento da pesquisa. Recolhem-se os termos assinados (TALE e TCLE). Apresenta-se a forma como as aulas serão conduzidas e a metodologia adotada. Informa-se que as aulas serão gravadas em áudio, garantindo que a identidade dos alunos seja preservada. Enfatiza-se que eles não devem se sentir constrangidos, pois a gravação em áudio é apenas para fins de referência e revisão dos detalhes da aula.

Desenvolvimento: Após a atividade inicial, começa-se a caracterizar o Universo como é conhecido pela ciência atualmente, explicando as principais eras da sua formação, segundo a teoria mais aceita no momento, e introduzindo a unidade de medida ano-luz no quadro. Cria-se um Calendário Cósmico e uma linha cronológica, para que os alunos possam ter uma ideia e se familiarizar com os termos, conceitos e corpos celestes, incentivando discussões em sala. Apresenta-se e compara-se imagens dos telescópios Hubble e do James Webb para visualizar as grandes

estruturas do Universo, e também como o nível de precisão aumenta com a melhoria dos telescópios. Discute-se a formação dos elementos da tabela periódica nas estrelas, ressaltando que esse assunto será abordado com mais detalhes na Aula 3, e promovendo uma reflexão mais profunda nos alunos sobre a constituição humana a partir do pó das estrelas.

Fechamento: No final da aula, traça-se o endereço cósmico da Terra, apresentando a imagem do superaglomerado Laniakea e nossa vizinhança, como o super aglomerado de Coma. Essa imagem será retomada em algumas ocasiões ao longo das aulas, com o objetivo de familiarizar os alunos e preparar a introdução do tema da Matéria Escura.

Recursos: *Kit Educatron, notebook, cabo HDMI para o notebook, slides, Texto de Apoio intitulado “Matéria Escura e Energia Escura: uma revisão da literatura sobre um dos maiores enigmas da Física e Cosmologia contemporâneas”⁷, vídeo⁸.*

Relato da Aula 1

Ao dar início à aula de Física, a professora regente precisou fazer alguns comunicados aos alunos e realizar a chamada, resultando em um atraso de 10 minutos para o início efetivo da minha intervenção.

Ao assumir a palavra, informamos aos alunos que a aula estava sendo gravada em áudio; vale ressaltar que essa informação pode ter gerado certa inibição nas respostas e interações, foi a percepção que tivemos ao transmiti-la; isto se deveu, em boa medida, pela impossibilidade de fazer uma observação participante para estabelecer um nível de confiança e minimizar vergonha ou constrangimentos por parte dos estudantes.

Apresentamo-nos e distribuimos o Questionário Informativo (Inicial), solicitando que respondessem da melhor maneira possível e que teriam 10 minutos para fazê-lo ou, caso preferissem, poderiam entregá-lo no final da aula.

⁷ http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v33n1.pdf

⁸ [Uma comparação do tamanho de planetas e estrelas](#) Acesso em: julho de 2023.

Dessa forma, demos início à aula propriamente, começando com uma introdução sobre nossa pesquisa e sobre o tema da Matéria e Energia Escura sob uma perspectiva epistemológico-histórica. Em seguida, apresentamos uma pergunta aberta sobre o que existe, além de nós, e pedi que compartilhassem suas opiniões. As respostas predominantes foram:

- *Et's*
- *Buracos negros*
- *Buracos de minhoca*
- *Estrelas*

Demos continuidade apresentando o cronograma das aulas e seguimos para o conteúdo a partir de “o que” o modelo cosmológico atual assume como o início de tudo: *o Big Bang*. Nesse momento, solicitamos aos alunos que me dissessem se já tinham ouvido falar sobre o assunto e o que sabiam a respeito. As respostas foram:

- *Já ouvi sim, foi uma explosão*
- *Uma explosão*

Em seguida, colocamos duas perguntas à discussão: *Seria correto chamar o evento de uma explosão ou uma expansão? Seria possível, com base nas aulas de Química, considerá-lo uma explosão?* Pedi aos alunos que compartilhassem suas opiniões.

- *Verdade, foi uma expansão.*
- *Uma expansão.*
- *O Stephen Hawking falou em expansão mesmo.*

Pareceu-nos que os alunos não tinham clareza da diferença conceitual entre uma explosão e uma expansão, e que apenas confirmavam a resposta que consideravam correta. Diante disso, fizemos uma breve recapitulação de tópicos de Química, destacando os elementos necessários para ocorrer uma explosão.

Em seguida, introduzimos a ideia de que no evento primordial [*Big Bang*] não fazia sentido falar nem em espaço nem em tempo; nem dos próprios elementos, como o oxigênio, necessário para uma explosão ocorrer. A partir desse ponto, mergulhamos no tema, refletindo sobre a teoria do Big Bang como uma expansão, uma singularidade em que tudo o que existe estava comprimido em uma estrutura próxima às dimensões de um átomo. Explicamos que exploraríamos mais a fundo a história dessa teoria,

como foi concebida e desenvolvida, e como se tornou a teoria amplamente aceita pela comunidade científica nos dias atuais.

Partindo das eras cosmológicas, exploramos o conceito do calendário cósmico, permitindo aos alunos estabelecerem conexões entre suas experiências cotidianas e um calendário com bilhões de anos. Durante a exploração, enfatizamos que a ciência estuda esse "tempo" e que a idade do Universo foi estimada por meio de observações do passado, utilizando a luz como principal ferramenta; explicamos que tudo o que é observado na Cosmologia interage com a luz e o tempo que ela leva para chegar até nós; destacamos também os principais eventos desse calendário cósmico, incentivando os alunos a explorarem uma série amplamente conhecida na divulgação científica chamada Cosmos. Alguns alunos expressaram já ter conhecimento da série, o que gerou entusiasmo e uma conexão prévia com o tema.

- *Já ouvi falar, mas ainda não vi.*
- *Já vi alguns episódios.*

A aula prosseguiu com a apresentação de imagens obtidas do site⁹ do telescópio James Webb, que mostram as impressionantes estruturas presentes no Universo. A partir daí, exploramos como os elementos da tabela periódica são formados no Universo (estrelas e nebulosas), culminando na formação de elementos conhecidos por nós, como o ouro e os componentes do ar, e destacando a importância desses elementos para a existência da vida humana.

No final da aula, concentramo-nos em localizar o planeta Terra na Via Láctea, em seguida, ampliamos o escopo para abranger o Universo Observável. Ao serem perguntados se já haviam notado, em uma noite de céu limpo, uma espécie de "rastros" no céu, composto por muitas "estrelas", responderam negativamente.

Em seguida, explicamos aos alunos como eles poderiam observar a nossa própria galáxia, a Via Láctea, e que além das estrelas, poderiam identificar outros corpos celestes, como planetas, luas e inclusive outras galáxias. Destacamos que, especialmente no céu da cidade de Guarapuava, por ser uma região com elevação considerável (cerca de 1.120 metros de altitude, de acordo com informações do Wikipedia) e estar localizada no interior do estado do Paraná, havia pouca poluição visual, proporcionando um céu propício para a observação astronômica.

⁹ <https://webb.nasa.gov/>

Deixamos como "tarefa", tentarem realizar suas próprias observações e compartilhar seus comentários na próxima aula.

No fim da aula revelamos que tudo o que tínhamos explorado até então, as estruturas e formações do Universo, representava apenas cerca de 5% do Universo como um todo, e introduzimos os paradigmas de Matéria e Energia Escura. Pedimos aos alunos para compartilharem suas impressões sobre essa informação e que expressassem a percepção desse novo paradigma. A maioria demonstrou surpresa:

- *É muita coisa que existe!*
- *Como assim só isso? (se referindo aos 5%)*
- *É infinito o Universo.*

O sinal tocou. Enquanto organizávamos o material utilizado, um aluno fez uma pergunta intrigante:

- *Professora, se a gente pudesse estar num local fora da Terra, bem longe e apontar uma lente muito boa, poderíamos ver os dinossauros?*

Confessamos que a pergunta nos pegou de surpresa; como tínhamos pouco tempo entre uma aula e outra, e a próxima professora já estava à porta, explicamos ao aluno que retomariamos o assunto na aula seguinte, quando teríamos mais tempo para discutir e explorar essa questão com mais detalhes.

5.6.2 Plano de Aula 2 - O maior erro de Einstein? A constante cosmológica

Data: 12/05/2023 - 1 hora/aula

Alunos presentes: 37

Conteúdo: Expansão do Universo e Energia Escura

Objetivos de ensino: Apresentar historicamente como se construiu o conhecimento acerca da teoria do *Big Bang*, destacando que nessa longa história os cientistas também cometem erros, que a história contada nos materiais didáticos e popularmente resume em muito o contexto dos eventos ocorridos. Demonstrar que

alguns fenômenos e conceitos físicos estudados durante o ensino médio, como ondas eletromagnéticas e efeito doppler, também possuem sua função na Cosmologia.

Atividade Inicial: Inicia-se com uma breve discussão sobre a unidade de medida da Cosmologia, o ano-luz; escreve-se no quadro as conversões necessárias para compreender a extensão percorrida pela luz em um ano. Realiza-se junto aos estudantes algumas atividades mentais para que possam visualizar de forma mais tangível a distância que a luz percorre em um ano e explica-se que tudo o que observamos no céu está no passado, enfatizando a importância dessa noção para o desenvolvimento da unidade didática.

Desenvolvimento: No decorrer da aula, apresentam-se as respostas às perguntas do Questionário Informativo (Inicial - conhecimentos prévios), demonstrando que as respostas foram cuidadosamente consideradas para o planejamento das aulas. Em particular, enfatiza-se a questão 5 do questionário: "*Que tipo de assunto você gostaria que fosse abordado nas aulas de Física?*" e que várias respostas dos alunos coincidiam com o tema da UD, o que era tomado como um sinal positivo de interesse no conteúdo que seria abordado nas aulas.

Para contar a história da teoria do *Big Bang*, introduz-se as contribuições dos cientistas Albert Einstein, Edwin Hubble, Georges Lemaître e Alexander Friedmann. Faz-se uma contextualização histórica sobre a Teoria da Relatividade de Einstein e como os cientistas da época entendiam o passado, o presente, o futuro e a forma do Universo. Apresenta-se o que Einstein, mais tarde, considerou seu maior erro: a constante cosmológica. Durante a construção dessa teoria, abordam-se as primeiras observações realizadas por Hubble, que revelaram a existência de galáxias além da Via Láctea, mostrando como a compreensão científica foi evoluindo ao longo do último século. Após a descoberta de que existem mais galáxias, observou-se que elas estão se afastando umas das outras de forma acelerada, o que nos levou à constante de Hubble; discute-se que recebeu esse nome apenas do cientista Hubble, embora tenha sido Lemaître quem a descobriu. Após a publicação de Lemaître, que mostrou que o Universo não é estático como Einstein acreditava, a constante cosmológica, anteriormente teorizada para manter o Universo estático, perdeu seu propósito, e Einstein admitiu ter sido seu maior equívoco, a excluindo de sua teoria.

Pretende-se destacar para os alunos que a ciência também pode cometer

erros, mesmo que essa constante cosmológica tenha sido posteriormente utilizada novamente. Aborda-se que, com a expansão do Universo, Lemaître formulou a teoria do átomo primordial, que posteriormente foi ironicamente nomeada, em uma entrevista com Fred Hoyle, como "Big Bang" (uma grande explosão). Assim, a teoria do átomo primordial ficou conhecida como a *teoria do Big Bang*. Mais tarde, na linha cronológica, por volta da década de 1990, dois grupos de cientistas buscaram compreender como ocorre a expansão do Universo; e o que estaria impulsionando essa expansão, que supera a força gravitacional (de atração).

A partir da velocidade das galáxias e de seu brilho, esses dois grupos recorreram à constante cosmológica de Einstein para explicar a expansão acelerada do Universo. Dessa forma, nasceu um novo paradigma científico: a Energia Escura, responsável pela taxa de expansão. Retoma-se essa descoberta, juntamente com a ilustração da Figura 6 que representa a evolução do Universo, para conectar esse conhecimento com o contexto histórico.

Figura 6: ilustração das eras de expansão do Universo.



Fonte: À esquerda, figura disponível em NASA/WMAP¹⁰. À direita refere-se aos slides (Apêndice H) da autora. Acesso em: Julho de 2023.

Fechamento: Questiona-se como os dois grupos de cientistas chegaram à conclusão de que o Universo possui essa Energia Escura, considerando que ela é chamada de "escura" justamente porque não pode ser observada diretamente. Assim, a partir do afastamento das galáxias, retoma-se os conceitos do efeito Doppler e de ondas eletromagnéticas, destacando sua relevância na Cosmologia por meio do desvio para o vermelho (redshift) e para o azul (blueshift). Busca-se compreender a

¹⁰ [Timeline of the Universe Image](#). Acesso em julho de 2023.

relação entre a formação do espaço-tempo e o alongamento das ondas para comprimentos maiores, bem como a noção da radiação cósmica de fundo.

Estes temas seguem na Aula 3, abordando com maior profundidade a formação dos elementos químicos da tabela periódica nas estrelas, bem como a reflexão sobre a constituição humana a partir da poeira estelar.

Recursos: *Kit Educatron*, *notebook*, cabo HDMI para o notebook, *slides* e Texto de Apoio (Apêndice G).

Relato da Aula 2

No momento inicial dessa aula tivemos a chamada e logo após um comunicado do Colégio direcionado, aos alunos, através da caixa de som da sala de aula. O tempo foi o necessário para que pudéssemos conectar o notebook no *Educatron*.

Começamos abordando questões como: "O que existe nos 95% do Universo?", "Como chegamos à Teoria do Big Bang?", "Como sabemos que o Universo está se expandindo aceleradamente?". Foi importante ressaltar que todas essas questões são investigadas por meio de uma análise retrospectiva da luz (proveniente do espaço), buscando compreender o passado do Universo.

No espírito de desmistificar a ideia de que a ciência é uma verdade absoluta, de maneira descontraída, mencionamos que também poderíamos adaptar o cronograma com base no tempo disponível de aula. Apresentamos, então, a mudança que fizemos, antecipando o tema "O maior erro de Einstein?" devido à limitação de tempo para nossa intervenção. Em seguida, compartilhamos parte das respostas anônimas dos alunos ao Questionário Informativo (Inicial), com destaque para as respostas à pergunta "4) *O que você acha mais interessante na Física? E menos interessante?*". Nesse momento os alunos ficaram interessados ao ver suas respostas sendo mencionadas, alguns se identificaram nas respostas apresentadas (*Ah, essa resposta foi minha!*).

Mencionamos que manteríamos o anonimato, mas que eles ficassem à vontade para comentar sobre as respostas.

Ao apresentarmos as respostas à pergunta "7) *Quais dificuldades você costuma ter ao estudar Física?*", destacamos que, de forma unânime, a resposta foi "Cálculos". Nesse momento, os alunos fizeram comentários:

- *Todas!*
- *Tudo que tem fórmula...*
- *Não dá pra entender quase nada!*
- *Decorar as fórmulas é impossível!*

Em seguida, compartilhamos nossa percepção, a partir das respostas do questionário, pontuando que aqueles que consideravam os "cálculos" difíceis, por outro lado demonstravam ter uma grande curiosidade pelos temas relacionados à origem do Universo. Isso estava em consonância com as respostas à pergunta 5) "Que tipo de assunto você gostaria que fosse abordado nas aulas de Física?". Apresentamos as respostas dos alunos e perguntamos de onde haviam ouvido falar sobre esses assuntos. Algumas respostas foram:

- *Ví vídeos no YouTube.*
- *Vi no Ciência Todo Dia¹¹.*
- *Tem no Rick and Morty algumas coisas¹².*
- *Vi em filme...*

Achamos interessante que eles tivessem contato com a divulgação científica, por outro lado essas falas revelavam que não tinham lido o Texto de Apoio que produzimos e que lhes fora enviado já pela professora regente da turma.

Alertamos, neste momento, sobre a necessidade de serem críticos em relação às fontes das informações que encontram, especialmente da internet; sobre a importância de distinguir entre conceitos baseados em evidências científicas e aqueles que são crenças ou apenas ficção. Também destacamos o cuidado que deveriam ter com expressões como "cientificamente comprovado" (CHALMERS, 1999), pois às vezes são usadas para legitimar produtos de forma imprecisa (ou mesmo fraudulenta). Para ilustrar esse ponto, mencionamos exemplos de falsas informações, misticismos, como a ideia da "cura quântica", "coaching quântico" etc., que são maus usos da ciência. Perguntamos aos alunos se já tinham ouvido falar disso, e eles confirmaram. A ideia foi torná-los mais críticos e fundamentados na

¹¹ Canal do YouTube de divulgação científica

¹² Série de animação de comédia e ficção científica

ciência. Passamos a questionar "O que vocês já viram sobre essas afirmações? Quais exemplos vocês conhecem?".

- Já vi sobre Coaching Quântico, mas nem sei o que é...
- Os signos também seria né professora?
- O cientificamente comprovado é direto...

Reforçamos que esses exemplos são o que chamamos de pseudociência, ou seja, ideias que não são cientificamente aceitas. Em seguida, perguntamos "O que vocês entendem por cientificamente comprovado?" Surgiram poucas respostas:

- Que precisou de muita pesquisa...
- Que os cientistas estudaram muito tempo.
- Algo que passa por testes dos cientistas.

Explicamos que essas respostas estavam, de certa forma, adequadas e ressaltamos a importância de termos uma base sólida de evidências científicas para afirmarmos que algo é "cientificamente comprovado"; que processos científicos envolvem testes rigorosos, revisões e replicações de resultados, garantindo, assim, a confiabilidade dos dados e das explicações, mas que não existe um "método científico" único, o que existe é uma pluralidade metodológica para se fazer ciência.

Retomamos a história da construção da teoria do Big Bang, destacando os principais cientistas envolvidos nesse processo (e.g., Albert Einstein, Edwin Hubble, Georges Lemaître e Alexander Friedmann); enfatizamos a importância de trabalhar em grupo na pesquisa científica, mencionando a minha própria orientadora e o grupo de estudos com o qual estou envolvida, que se dedica a temas próximos, como questões epistemológicas e estratégias no Ensino de Física.

Seguindo a história, conforme nosso plano de aula, abordamos a concepção da constante cosmológica de Einstein; explicamos como a comunidade científica da época compreendia o Universo e como essa constante estava relacionada à ideia de manter o Universo estático, evitando que entrasse em colapso devido à sua própria gravidade. Destacamos que, naquela época, a visão predominante era de um Universo estático e eterno, sem expansão ou contração; que Einstein introduziu a constante cosmológica em suas equações para equilibrar as forças gravitacionais e garantir essa estabilidade; que posteriormente, com as descobertas de Lemaitre e sua teoria sobre o "átomo primordial", o *Big Bang*, e de Hubble com as observações sobre o afastamento das galáxias, o Universo passou a ser entendido como tendo uma

expansão. Sendo assim, Einstein considerou a constante cosmológica um erro em suas equações e a removeu, deixando de lado por muitos anos. No entanto, na década de 1990, dois grupos de cientistas começaram a investigar as estruturas dos superaglomerados cósmicos, um grupo analisando a velocidade das galáxias e outro examinando o brilho dessas galáxias; e chegaram à mesma conclusão, de que o Universo estava em expansão acelerada.

Mencionamos que foi nesse contexto que a constante cosmológica, prevista por Einstein, ressurgiu. Em 1998, um artigo científico de Riess *et al.* (1998) foi publicado, introduzindo o conceito de Energia Escura para explicar essa aceleração cósmica observada. A Energia Escura foi proposta como uma forma de energia (hipotética) que preenche o espaço vazio do Universo e impulsiona sua expansão acelerada. Esse resultado revolucionou nossa compreensão da Cosmologia e abriu novas áreas de pesquisa na Astrofísica.

Explicamos que essa foi uma parte importante da história da Cosmologia, em que os cientistas estavam explorando diferentes concepções de Universo e ajustando suas teorias com base nas evidências observacionais; ressaltamos que a ciência não possui teorias absolutas e imutáveis; que a construção do conhecimento científico é baseada na utilização de leis e fatos, experimentos e cálculos matemáticos.

Pontuamos, alinhados a Bachelard (1991), que a matemática desempenha um papel fundamental na estruturação do conhecimento físico; por meio de equações e modelos matemáticos, os cientistas conseguem descrever e prever fenômenos naturais complexos.

Retomando o paradigma da Energia Escura, abordamos o conceito de espaço-tempo de forma teórica e relacionamos à expansão do Universo. Pontuamos que a expansão do Universo causou o esticamento das ondas originadas no início, ondas de altas energias (isto é, de altas frequências e comprimentos de onda muito curtos). Ao longo do tempo, essas ondas foram esticadas e hoje são detectadas como ondas de baixa frequência e longos comprimentos de onda. Nesse momento, relembramos as características das ondas, a fim de revisitar o conteúdo de ondulatória, enfatizando sua participação direta na detecção de fenômenos como o *redshift* e *blueshift* a partir do efeito doppler.

Apontamos a importância de compreender os conceitos de ondulatória para entendermos a detecção do *redshift*, que é um desvio para o vermelho observado no

espectro e que indica o afastamento de fontes de luz; ao passo, que *blueshift* é um desvio para o azul e indica a aproximação dessas fontes, então relacionado ao efeito doppler da mesma forma como ocorre com as ondas sonoras de uma sirene de ambulância, por exemplo, ao se aproximar ou afastar do observador. Reforçamos que essas observações nos fornecem informações cruciais sobre a expansão acelerada do Universo e nos levam à compreensão da existência da Energia Escura, a partir de sua interação, sendo essa energia responsável por impulsionar a expansão.

Os alunos puderam lembrar e aplicar o conhecimento de ondulatória para entender como as observações espectroscópicas contribuem para a investigação da Energia Escura e a expansão do Universo.

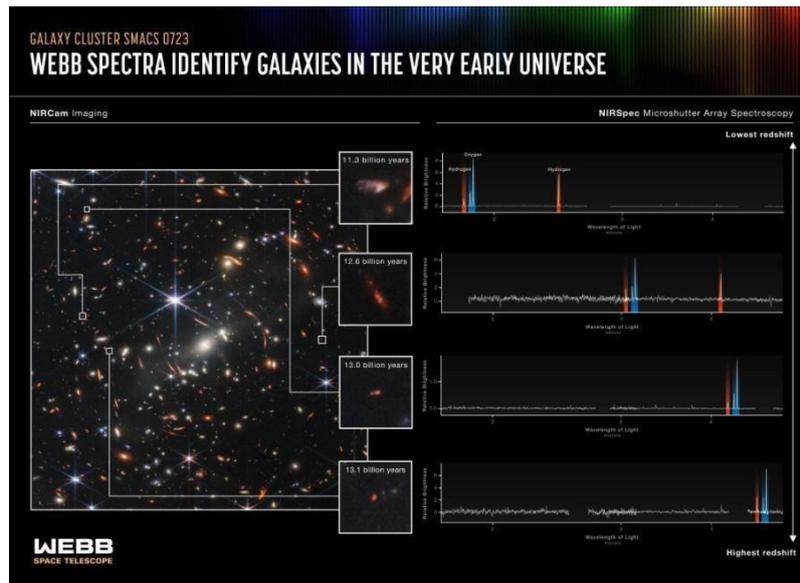
Após abordarmos o funcionamento do *redshift*, apresentamos uma "foto" (Figura 7) de campo profundo [do espaço] capturada pelo telescópio James Webb. Nesta imagem, observamos exemplos de deslocamento para o vermelho (redshift) em galáxias; explicamos que quanto maior o deslocamento para o vermelho, maior é a distância da galáxia em relação à Terra, permitindo estimar a idade da galáxia em bilhões de anos. Sobre a imagem apresentada, um aluno fez uma pergunta:

- *O que são os "pontos" azul e vermelho?*

Explicamos que as cores vermelha e azul representam os elementos químicos hidrogênio e oxigênio, respectivamente. No entanto, observando a imagem, foi possível notar que o eixo vertical indicava o grau de desvio para o vermelho, com os picos dos elementos químicos concentrados na parte do desvio.

Informamos que a aula sobre Energia Escura iria continuar na semana seguinte e encerramos a aula, devido ao término do período.

Figura 7: *Webb spectral identify galaxies in the very early Universe.*



Fonte: Reprodução/NASA [James Webb Space Telescope](#) . Acesso em: Julho de 2023.

Como a aula ocorreu no último período, o aluno que havia feito a pergunta no final da aula anterior, ficou uns minutinhos a mais em sala para que pudéssemos explicar o que ocorre quando se fala em observar o passado através da luz.

5.6.3 Plano de Aula 3 - Continuação O maior erro de Einstein? E os 95%?

Data: 16/05/2023 - 1 hora/aula

Alunos presentes: 38

Conteúdo: Energia Escura e Matéria Escura

Objetivos de ensino: Distinguir os conceitos de Energia Escura e Matéria Escura, proporcionando uma compreensão clara de suas características e diferenças. Além disso, busca-se demonstrar como a ciência evolui paralelamente ao avanço da tecnologia, permitindo a ampliação do conhecimento sobre o universo, ao observar cada vez mais profundamente o passado cósmico.

Atividade Inicial: Retomam-se os conceitos abordados nos últimos *slides* da aula anterior, com o objetivo de revisar o conteúdo que envolve uma temática histórica e teórica complexa; destaca-se o método utilizado para medir o afastamento das galáxias, conhecido como *redshift*. Nesse contexto, utilizam-se as estruturas de Supernovas Ia como referência; apresenta-se uma imagem obtida do telescópio James Webb, que ilustra como é possível visualizar o desvio para o vermelho de uma galáxia, explica-se que quanto maior for esse desvio, mais afastada da Terra a galáxia está, permitindo determinar a taxa de expansão do Universo.

Desenvolvimento: Aborda-se que a Energia Escura é “observada” por meio da análise da radiação cósmica de fundo. Retoma-se o conceito de onda e revisam-se as formas de propagação através do meio material; busca-se demonstrar como o avanço tecnológico possibilitou aos cientistas “observarem” o Universo em estágios de “menor inflação” (fase inflacionária do Universo), tendo sido possível identificar um Padrão de Oscilação Acústica Bariônica, que representa as ondas sonoras que se formaram durante a fase inicial de formação dos primeiros átomos no Universo. Destaca-se que esses átomos apresentavam desequilíbrios de densidade, e a radiação cósmica de fundo preservou esse padrão de diferentes densidades ao longo do tempo, sendo que essas variações de densidade resultaram na formação de estruturas super aglomeradas, como o nosso próprio superaglomerado, Laniakea.

Explica-se que, assim, a Energia Escura pode ser detectada através da medição do afastamento das galáxias por meio do *redshift*, permitindo determinar a taxa de expansão do Universo. Além disso, a radiação cósmica de fundo também desempenha um papel fundamental, servindo como uma “régua padrão” para o Universo, pois contém informações sobre as ondas acústicas bariônicas que se formaram durante os estágios iniciais do Universo.

Apresenta-se aos alunos o novo conceito de Matéria Escura. Para estimular suas habilidades abstratas, exibe-se uma imagem noturna de uma cidade e solicita-se que descrevam o que estão “vendo”, mesmo que a imagem seja escura. A ideia é que os alunos mencionem a presença de prédios, árvores e outras estruturas. Em seguida, questiona-se como eles sabem da existência dos prédios, por exemplo, se não é possível vê-los na foto. Os alunos devem compreender que a partir das luzes presentes é possível construir uma “imagem” dos prédios.

Nesse contexto, mostra-se uma ilustração do *iceberg* no qual o navio Titanic colidiu, ressaltando que, mesmo sem conseguir ver todo o seu tamanho, houve uma interação catastrófica entre o *iceberg* e o navio. Utiliza-se tal analogia para introduzir o conceito de Matéria Escura, explicando que se pode apenas observar sua interação, assim como ocorre com a Energia Escura; que embora sejam conceitos distintos, ambos são abordados devido à sua interação gravitacional e à ausência de "luz", e que o termo "Escura" expressa justamente isso.

A contribuição de mais um cientista é introduzida na história da Matéria Escura, o astrônomo suíço Fritz Zwicky. Prossegue a aula com a descrição da sequência de observações realizadas por Zwicky no superaglomerado de Coma. Retoma-se a ilustração dos superaglomerados Laniakea e Coma, que os alunos já tiveram a oportunidade de visualizar, buscando garantir que possuam alguns conceitos prévios básicos das estruturas astronômicas, necessários para compreender o conteúdo que será abordado na sequência.

Essa etapa também é crucial para os estudantes compreenderem como surgiu a teorização da Matéria Escura e como ela não se alinhava com a bem estabelecida teoria da Gravitação de Newton. Fritz Zwicky estava realizando medições das velocidades nas bordas das galáxias que compõem o superaglomerado Coma; ao comparar as medições feitas com base na velocidade e no brilho, ele encontrou uma discrepância em relação aos valores esperados pela teoria da Gravitação de Newton, isto é, observou que as galáxias giravam com velocidades mais altas nas bordas. A teoria previa que deveria haver uma quantidade de massa muito maior no centro das galáxias. Como essa massa não era visível, Zwicky chamou-a de "*Dunkle Materie*", em suíço, ou Matéria Escura. Vale ressaltar que Zwicky não foi o primeiro cientista a propor esse conceito, pois Lord Kelvin já havia mencionado a existência de uma quantidade significativamente maior de massa no Universo do que a que era visível.

Faz-se, então, uma breve recapitulação cronológica, recorda-se que em 1923, Hubble fez a descoberta de que existem no universo mais galáxias, além da Via Láctea. Em 1929, ele também determinou que o Universo está em expansão. Em 1931, a teoria do átomo primordial foi proposta (ainda não denominada de *Big Bang*). Em 1933, Zwicky constatou a existência da matéria escura ao observar as galáxias de Coma. Prosseguindo, apresentam-se aos alunos novos astrônomos, como Horace Babcock, que em 1939 realizou observações das estrelas na galáxia de Andrômeda

e percebeu que elas orbitava com velocidades muito mais altas do que o previsto pela teoria newtoniana. No entanto, foi somente na década de 1970 que a comunidade científica começou a prestar atenção à possibilidade da existência da matéria escura, quando a astrônoma Vera Rubin e o colaborador Kent Ford mapearam as estrelas nos braços externos das galáxias Via Láctea e Andrômeda.

Exploram-se a Lei da Gravitação de Newton e a Teoria da Relatividade de Einstein, do espaço-tempo, apresenta-se um gráfico e uma ilustração que buscam mostrar as expectativas teóricas em relação à velocidade das estrelas nas galáxias. De acordo com a teoria newtoniana, espera-se que as estrelas mais próximas do centro das galáxias, onde a maior quantidade de matéria é concentrada, apresentem velocidades maiores, enquanto as estrelas nas extremidades, mais distantes do centro de massa, teriam velocidades menores. Ressalta-se que esse modelo teórico funciona perfeitamente para o Sistema Solar, onde as velocidades dos planetas são descritas em relação à sua distância em relação ao Sol, que é o centro de massa do sistema. No entanto, mostram-se medidas experimentais surpreendentes, com um gráfico das observações feitas, que divergem do gráfico teórico esperado, principalmente devido à observação espectroscópica das linhas de emissão de hidrogênio neutro de 21 cm.

A aula seguirá a partir de questões sobre “como se observa” algo que é invisível. Inicia-se questionando sobre a composição da matéria que se conhece; explica-se como os elementos químicos são formados no interior das estrelas; apresenta-se esta parte seguindo para a tabela periódica, aborda-se que as estrelas mais frias formam os elementos mais leves da tabela periódica e as estrelas mais quentes forjam elementos mais pesados, sendo formados os 92 elementos da Tabela Periódica no interior das estrelas e em decorrência das explosões [das estrelas] em supernovas.

Apresenta-se aos alunos, assim, a origem dos elementos químicos no universo, o que provavelmente não viram ainda no colégio. Aborda-se, por exemplo, a molécula da água, onde há dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio; discute-se a composição de ambos os átomos, com as suas subestruturas de elétrons, que são partículas elementares, e prótons e nêutrons, com sua estrutura formada por quarks. Nesse ponto, retomam-se aspectos históricos, mostrando que havia a ideia do átomo como uma partícula [corpúsculo] indivisível e sem estrutura interna, mas com o avanço

da ciência essa visão foi mudada, pode-se observar que os átomos não são partículas elementares, mas constituídos por partículas ainda menores, com elétrons e quarks. Bachelard (1973) chama a atenção para o uso pedagógico de “corpúsculo”, não se trata de uma massa muito pequena localizada em um lugar muito pequeno no espaço, é muito mais que isto, “corpúsculo se converte em um centro de irradiação para um fenômeno maior” (Ibid., p.15). Alerta-nos que o nosso conhecimento avança no sentido da maior abstração, e que precisamos evitar a criação de obstáculos epistemológicos nos estudantes.

Dá-se seguimento à aula abordando o Modelo Padrão da Física de Partículas (MOREIRA, 2011), com o objetivo de ilustrar que o elétron faz parte deste modelo; aborda-se sobre o bóson de Higgs e pergunta-se se os alunos já ouviram notícias de que em 2012 ocorreu sua detecção; alerta-se que a detecção ocorreu muitos após sua teorização, chamando a atenção para um aspecto importante da natureza da ciência – muitas vezes a teoria precede a experimentação. Segue-se com um quadro constando as partículas físicas e se foram teorizadas antes ou depois de sua detecção e quanto tempo se passou, contextualizando que isto também contradiz o “método científico” tradicional, segundo o qual se entendia que sempre o cientista observa algum fenômeno, sem pré julgamentos ou hipóteses, enfatizando para a turma que a História da Ciência está recheada de contra exemplos [ao método científico experimental]; ativamente “a história está sendo escrita” quando nos deparamos com a teoria *do Big Bang*, a busca de evidências da matéria e energia escura, as tentativas de detecção e de construção de uma teoria que explique tais evidências.

Como muitos alunos haviam escrito no Questionário Informativo Inicial que gostariam de saber mais sobre a antimatéria, dedica-se uma breve explicação sobre esse ponto.

Segue-se à indagação aos alunos sobre o quê exatamente os cientistas estão buscando responder sobre a matéria escura”. Busca-se ir construindo o raciocínio junto com os alunos, retomam-se as quatro forças fundamentais: gravitacional, eletromagnética, força forte e força fraca. Inicia-se pela gravidade que é uma força mais familiar aos alunos, com exemplos de sistemas como ser humano-Terra, Terra-Lua e, como pedido no Questionário Inicial, fala-se do buraco negro – que possui sua gravidade extremamente alta. Passa-se à força eletromagnética, também muito familiar aos alunos, com os exemplos de ímãs; depois, aborda-se a formação da

aurora boreal a partir da rotação da Terra e seu campo magnético. Exemplificam-se as forças forte e fraca pelos átomos, e associa-se a força forte ao conceito da partículas elementares como quarks (que constituem os prótons e os nêutrons); retoma-se com a turma aspectos do eletromagnetismo, o comportamento das cargas elétricas, o que ocorre quando se aproximam corpos carregados com sinais iguais ou opostos, enfatiza-se que é aí que a força forte age.

Tudo isso para preparar as bases, os conceitos que precisam ser conhecidos pelos alunos a fim de ampliarem suas redes de subsunçores, para discutir como a matéria escura interage e quais foram e ainda são os principais candidatos. Resgata-se a distribuição de velocidades das galáxias em relação a sua massa central, e como essas velocidades maiores dos braços das galáxias foi um indício direto da existência de matéria escura; outro indício são os efeitos de lentes gravitacionais, onde a Teoria da Relatividade de Einstein será explicada auxiliada por imagens registradas pelo telescópio James Webb. Aborda-se a terceira e última interação, a partir de estudos de espectroscopia de Raio-X do Bullet Cluster (aglomerado Bala), onde faz-se uso de uma simulação computacional 3D. Na simulação, os alunos poderão ver como a matéria visível foi separada da “matéria escura” após a colisão das duas galáxias, sendo essa uma das observações que consagraram a existência da matéria escura.

Fechamento: Encerrando a aula, propõem-se questionamentos e reflexões sobre a natureza da matéria escura. Como mencionado anteriormente, assim como a energia escura, a matéria escura só pode ser percebida por meio de suas interações. Explica-se que os candidatos estudados até o momento na ciência, que contribuem para responder a busca pela matéria escura, serão apresentados na última aula da UD. Solicita-se aos alunos que leiam o Texto de Apoio e entreguem digitalmente respostas, para que na última aula se possa realizar uma discussão sobre a UD.

Recursos: *Kit Educatron, notebook, cabo HDMI para o notebook e slides e o Texto de Apoio.*

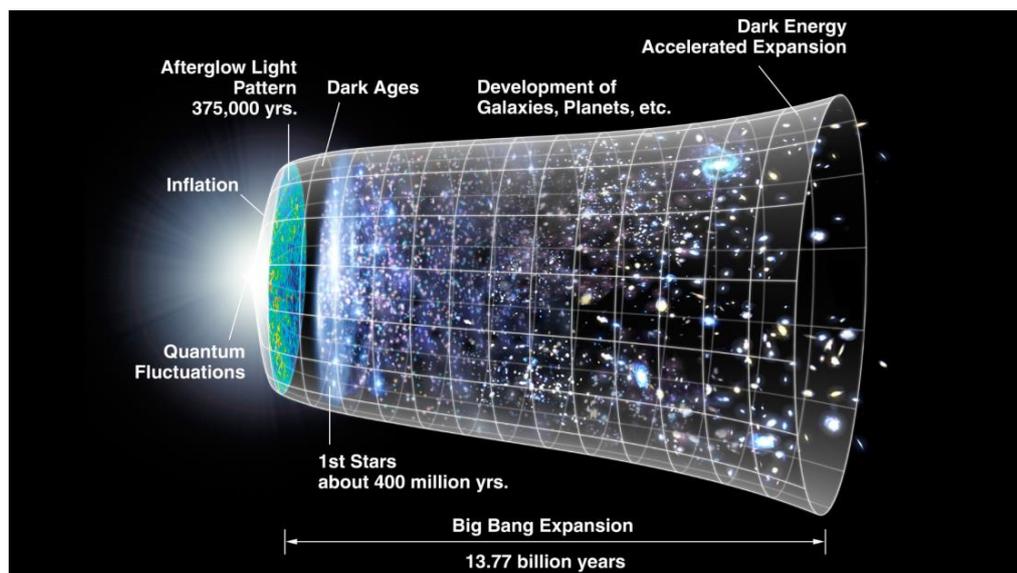
Relato da Aula 3

A aula iniciou com a chamada dos alunos. Em seguida, prosseguimos com o conteúdo programado, retomando os *slides* da aula anterior para revisar conceitos discutidos e compreender a Figura 7 – em relação ao afastamento das galáxias por meio do *redshift*. Explicamos aos alunos que esse afastamento era observado a partir das características das supernovas do tipo Ia nessas galáxias; que essas supernovas eram consideradas "velas padrão" no Cosmos devido ao seu brilho extremamente intenso, permitindo aos cientistas detectarem as galáxias mesmo a grandes distâncias. Para que os alunos compreendessem o processo de uma supernova, apresentamos o ciclo de vida das estrelas, fazendo uso de imagens de duas supernovas capturadas pelo telescópio James Webb.

Dessa forma, retomamos uma imagem que havia sido apresentada no início da UD, uma representação teórica da evolução do *Big Bang* primordial até os dias atuais. Focamos na parte da imagem que ilustra a expansão do Universo, e os alunos puderam compreender que nos últimos 5 bilhões de anos essa expansão havia se tornado acelerada. A Figura 8 também foi utilizada para ilustrar essa compreensão, permitindo que visualizassem graficamente a ideia da expansão acelerada do Universo.

Na sequência, abordamos o conceito da radiação cósmica de fundo, explorando os avanços tecnológicos que permitiram a obtenção de uma representação do Universo em seu estágio com aproximadamente 380 mil anos.

Figura 8: Representação da evolução do Universo desde o Big Bang.



Fonte: Reprodução/NASA The Big Bang and expansion of the universe .
Acesso em Julho de 2023.

Durante a apresentação da Figura 9, solicitamos aos alunos que compartilhassem suas percepções sobre o que estavam vendo na representação, obtendo algumas respostas:

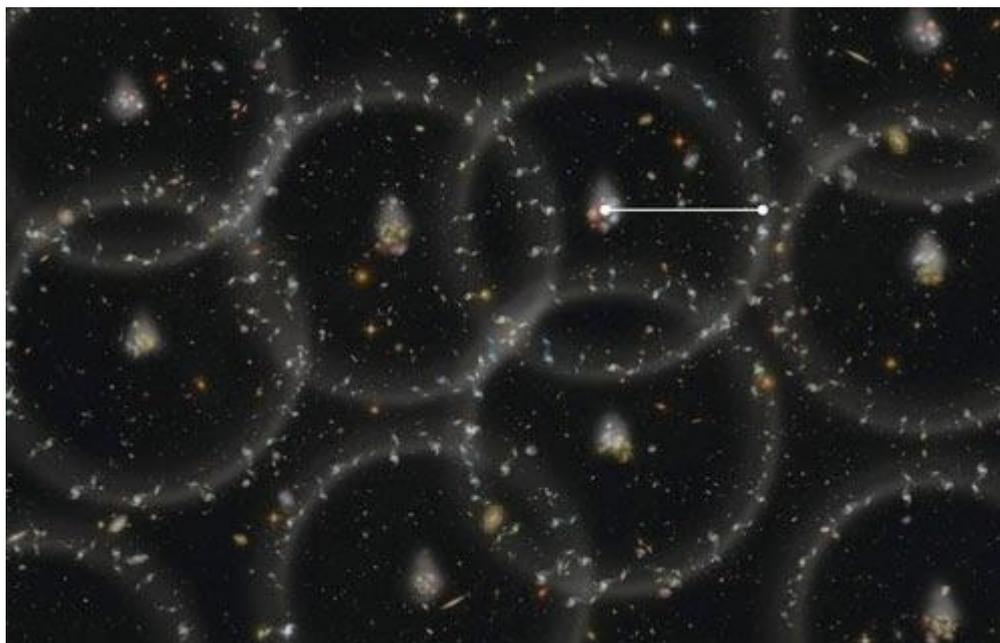
- São círculos.
- Tipo umas bolhas.

Ao fornecermos uma dica, dizendo que tinha relação com ondulatória.

- Ah, são ondas?

O aluno que fez este último comentário foi reconhecido por sua observação correta, o que ressalta a importância de relacionar os conceitos físicos estudados com suas aplicações na Cosmologia. Explicamos que as ondas acústicas bariônicas eram uma representação do Universo em seu estágio mais "primitivo", que a ciência já havia conseguido alcançar; que através desses padrões de ondas acústicas, os cientistas foram capazes de inferir os padrões de densidade do Universo, que persistem até os dias atuais; que essa descoberta nos permitiu compreender melhor a distribuição da matéria no Universo e como ela evoluiu ao longo do tempo. Destacamos que essa linha de pesquisa continua avançando, proporcionando novas perspectivas para a compreensão da cosmologia e das origens do universo.

Figura 9: Imagem ilustrativa produzida pelo projeto BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey) mostrando as esferas de bárions em torno dos excessos de densidades iniciais de matéria escura.



Fonte: Oscilações Acústicas de Bárions - BAO. Acesso em Julho de 2023.

Em seguida, retomamos a imagem dos superaglomerados Coma e Laniakea, destacando que essas estruturas não seriam apenas coincidências cósmicas, mas estavam fundamentadas na teoria do *Big Bang* de Lemaitrê, que descreve como toda a matéria e energia haviam sido condensadas em uma estrutura muito pequena, do tamanho semelhante a um átomo. Com isso, encerramos a parte relacionada ao paradigma da Energia Escura, buscando consolidar os conhecimentos compartilhados até aquele momento.

No contexto do paradigma da Matéria Escura, exibimos a Figura 10, que retrata uma cidade à noite; solicitamos que realizassem uma descrição do que percebiam na imagem.

- *Prédios.*
- *Daí tem um lago, tem árvores, prédios...*
- *Tem luzes em prédios.*

Questionamos o aluno 25 quanto a existência de um lago, obtendo a seguinte resposta:

- *Porque estou vendo a luz refletindo.*

Figura 10: Cidade de Puerto Madero - Argentina



Fonte: Reprodução/Shutterstock.com. Acesso em: Julho de 2023.

Assim, fomos explicando que a presença da matéria escura é, de forma análoga, percebida por meio de suas interações, mesmo que a ciência ainda não tenha sido capaz de detectá-la diretamente. Sua existência pode ser inferida a partir dos efeitos observados em outras estruturas e objetos presentes no Universo.

Prosseguimos com o conteúdo sobre a formação da “matéria comum” (bariônica, que compõe o Universo visível), lembrando como os elementos são formados no interior das estrelas e nas explosões de supernovas. Retomamos com os alunos a concepção histórica do átomo, como uma partícula indivisível e indestrutível, e como posteriormente foi descoberto que os átomos têm uma estrutura interna, composta por elétrons, prótons e nêutrons. Mencionamos que os prótons e os nêutrons são constituídos por partículas ainda menores chamadas de quarks.

Acerca da busca pela detecção da matéria escura, apresentamos uma questão para reflexão: "O que estamos procurando? A matéria escura é algo novo?"

Ademais, para que os alunos pudessem compreender a base teórica da matéria comum, e suas interações, abordamos as quatro forças fundamentais. Explicamos que, de acordo com a Teoria da Relatividade Geral, a presença de uma grande massa, como uma galáxia, uma estrela, encurva o espaço-tempo ao seu redor, o que afeta o caminho da luz que passa próxima a essa estrutura – é o fenômeno conhecido como lente gravitacional.

Assim, mencionamos o eclipse solar de 1919, que corroborou a previsão de Einstein de que a luz das estrelas seria desviada ao passar próximo do Sol devido à sua massa e à deformação do espaço-tempo. Essa previsão foi confirmada por uma expedição que observou o eclipse na ilha do Príncipe, na África, e em Sobral, no Brasil (NUNES; QUEIRÓS, 2020).

Além disso, abordamos uma interação muito importante observada no Bullet Cluster, Aglomerado Bala, por meio do espectro de raios-X de aglomerados de galáxias – a matéria escura, que não interage eletromagneticamente, atravessa a colisão das galáxias e o gás quente, resultando em uma distribuição diferente do esperado nos mapas de raios-X, além de exibir o efeito de lentes gravitacionais visíveis em uma região onde o centro de massa não está concentrado. Tal resultado apresentou uma forte evidência da existência da matéria escura, pois a explicação mais plausível para o observado seria a presença de uma componente/matéria invisível, que não interagia com a radiação eletromagnética, mas que exerceria influência gravitacional sobre a distribuição de matéria.

Nesse ponto precisamos encerrar a aula, deixando para a próxima a discussão sobre os candidatos à matéria escura. Como previsto no plano de aula, os alunos foram convidados a ler o Texto de Apoio, que foi enviado digitalmente, pois haveria um momento de debate sobre o conteúdo na conclusão da UD.

5.6.4 Plano de Aula 4 - É o fim da Gravidade de Newton? Quais os principais candidatos à matéria escura?

Data: 26/05/2023 - 1 hora/aula

Alunos presentes: 38

Conteúdo: Matéria Escura, os principais candidatos

Objetivos de ensino: Procura-se fazer com que os alunos compreendam e desenvolvam uma noção adequada de como a ciência evolui, com seus acertos e erros, estando sempre em progresso com relação aos conhecimentos anteriores, mas

também podendo e até rompendo com estes e, assim, chegando a novas teorias e compreensões acerca de tudo o que existe ao nosso redor. Nas palavras de Bachelard, a ciência em constante evolução é inconclusa.

Atividade Inicial: Revisa-se o conhecimento das interações e da existência da matéria escura, segue-se para a apresentação dos candidatos da matéria escura, discute-se candidatos que já foram considerados e descartados, também os que se busca ainda detectar – vê-se os *WIMPs* - Partícula massiva que interage fracamente; o Axios e o neutrino estéril; faz-se uso de imagens do detector de neutrinos Super-Kamiokande.

Desenvolvimento: Para a discussão do último candidato, apresenta-se a teoria que prevê a modificação da mecânica newtoniana para acelerações muito baixas, a *MOND* (Modified Newtonian Dynamics). Nesta parte é importante trazer o entendimento do conceito de gravidade para Newton e posteriormente para Einstein, pois é partir desta modificação que se pretende que os alunos percebam que a ciência vai evoluindo conforme se conhece mais do Universo; isto quer dizer, conforme a tecnologia avança, a cultura evolui, novos paradigmas são criados e, como a epistemologia de Gaston Bachelard traz, é necessário romper com o conhecimento anterior, sair da zona de conforto, para dar lugar a uma nova ideia, para que uma nova ciência possa avançar.

Por limitações de tempo, a UD encerra-se nesta parte, com a notícia de que ainda não houve uma detecção direta, precisa e clara do que seja a matéria escura, tampouco da energia escura. Também apresentam-se as respostas à questão 9 do Questionário Inicial, dadas pelos alunos antes de iniciar a UD, e forneceram indícios de como eram suas visões sobre as leis Física, seu processo de construção e possíveis mudanças e evolução. Tomam-se tais respostas como forma de introduzir um debate para a última parte da aula, sobre o tema estudado.

Fechamento: Entrega-se aos alunos o Questionário Final, onde terão alguns minutos para responder e retornar à pesquisadora; na sequência inicia-se um debate sobre a UD, suas percepções, apostas e perspectivas, apresentando também algumas questões no quadro sobre quais candidatos serão diretamente detectados

como matéria escura, quanto tempo eles estimam para localizá-la, e o porquê, entre outras questões para o debate.

Recursos: *Kit Educatron, notebook, cabo HDMI para o notebook, slides e Texto de Apoio “Matéria Escura e Energia Escura: uma revisão da literatura sobre um dos maiores enigmas da Física e Cosmologia contemporâneas”*.

Relato da Aula 4

A última aula teve início com a chamada realizada pela professora regente. Um detalhe é que os alunos estavam vestindo pijamas, pois era um dia de trote dos terceiros anos, o que os deixava animados e comunicativos. Essa atmosfera descontraída foi positiva, pois os alunos se sentiam mais à vontade para participar das discussões, no final da aula.

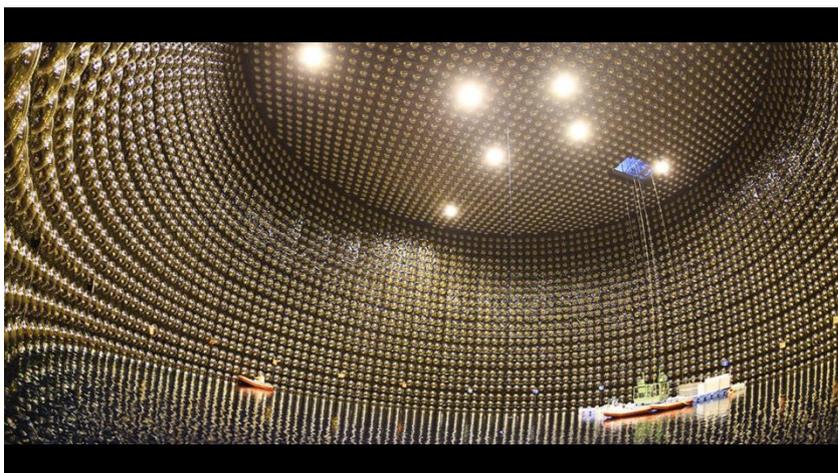
Na primeira parte da aula, apresentamos as teorias relacionadas aos possíveis candidatos à matéria escura; explicamos cada um dos principais candidatos, levando em consideração suas características, a forma como interagem (ou não) com as forças fundamentais (força gravitacional, eletromagnética, forte e fraca) e as teorias prévias existentes.

Na apresentação do Neutrino estéril, explicamos como este foi inicialmente proposto, e o motivo de não ser mais considerado um candidato potencial à matéria escura. Entretanto, os alunos demonstraram espanto ao ver a imagem da Figura 11, referente ao tamanho do detector de neutrinos – o Super-Kamiokande. Foi possível escutar expressões como: *Nossa, o tamanho do lugar!*

Percebendo o interesse despertado, mencionamos que deixaríamos um link¹³ de um vídeo relacionado ao Super-Kamiokande, o qual seria compartilhado posteriormente através do grupo de WhatsApp da turma.

¹³ Link enviado aos alunos: [Inside Japan's Big Physics | Part one: Super Kamiokande](#)

Figura 11: Super-Kamiokande, detector de neutrinos



Fonte: Super-Kamiokande – Neutrinos . Acesso em Julho de 2023

Após discussão dos possíveis candidatos à matéria escura, abordamos o tema "É o fim da gravidade de Newton?". Apresentamos a concepção da Teoria da Gravidade de Isaac Newton, que é comumente estudada no Ensino Médio, como sendo uma força atrativa. Em contraste a esta, discutimos brevemente a Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein, que coloca a gravidade em termos de distorções que um corpo massivo provoca no "tecido" do espaço-tempo. Nesse momento, os alunos ficaram surpresos. Esse era o objetivo da abordagem, isto é, suscitar nos alunos a percepção de que a Física Moderna e Contemporânea traz novos e, muitas vezes, anti-intuitivos conhecimentos. Essa discussão gerou várias perguntas.

Mas como assim, a gravidade não é a gravidade?

Mudou a gravidade?

Sobre estas perguntas, ressaltamos um aspecto epistemológico, de que as teorias científicas estão em constante evolução à medida que se avança no conhecimento. Para ilustrar essa ideia, relembramos o modelo do átomo indivisível proposto por Dalton, comparado à visão atual que temos, destacando que hoje se sabe que o átomo é divisível, que possui uma estrutura interna composta por elétrons, prótons e nêutrons, e que estes últimos são compostos de partículas elementares chamadas quarks. Além disso, esclarecemos que o modelo atômico não é mais concebido como um sistema planetário, mas como uma "nuvem de elétrons" ao redor

do núcleo. Para complementar, comentamos que enviaríamos um link¹⁴ sobre os modelos atômicos.

Apresentamos também a teoria da *MOND (Modified Newtonian Dynamics)*, sendo esta uma proposta para não introduzir uma nova partícula como constituinte da matéria escura, mas sugerindo uma modificação da dinâmica newtoniana em baixas acelerações; destacamos que esta teoria não explica as lentes gravitacionais, nem o evento do Aglomerado Bala, visto na aula 3.

Dessa forma encerramos a UD e distribuimos aos alunos o Questionário Final, pedindo que escrevessem o mais detalhado possível suas respostas e que teriam em torno de 15 minutos para isso, e que após abriríamos uma discussão sobre as aulas.

Assim que os alunos entregaram o questionário, iniciamos a discussão sobre o módulo didático com questões como: “Quanto tempo levará para a ciência detectar a matéria escura?”; “Será que um dia iremos observar a matéria escura?” Realizamos também uma pequena votação para saber quem/quantos alunos achavam que a matéria escura iria ser, de fato, uma nova partícula; e quem/quantos acreditavam que haveria uma adaptação da compreensão das teorias já estabelecidas, como sugere a *MOND*. Durante a conversa com os alunos, foi questionado sobre a realização da leitura do Texto de Apoio disponibilizado ao longo da UD, e se haviam dúvidas, etc. Porém, os alunos não demonstraram que, de fato, haviam lido. Os únicos comentários foram: “*dei uma olhada*”, “*não fiquei com dúvidas*”.

A UD encerrou, neste dia, com os alunos agradecendo pelas aulas. Uma aluna disse que iria sentir nossa falta e pediu um abraço para se despedir. Obtivemos vários comentários positivos sobre as aulas, que serão objeto de discussão na análise.

¹⁴ Link dos modelos atômicos [Modelos atômicos | Átomo](#)

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste Capítulo descrevemos mais acuradamente a metodologia utilizada para analisar os dados qualitativos neste estudo. Destacamos que seguimos as diretrizes metodológicas propostas por Creswell (2014), adotando uma abordagem qualitativa de pesquisa; tivemos como objetivo explorar e compreender as percepções, crenças, experiências e compreensões dos estudantes do Ensino Médio em relação ao tema da "Matéria e Energia Escura".

O *design* da pesquisa seguiu uma *abordagem fenomenológica*, buscando capturar a essência e o significado das experiências vivenciadas pelos participantes ao longo da intervenção.

De acordo com Creswell (2014), um estudo fenomenológico tem como objetivo descrever o significado para os indivíduos a partir de suas experiências vividas em relação a um conceito ou fenômeno. O foco principal é capturar a natureza própria da experiência.

Neste estudo enfocamos o fenômeno relacionado à aplicação de uma unidade didática sobre o tema da Matéria e Energia Escura, um tema contemporâneo e absolutamente novo para os estudantes. Através da aplicação da UD, da observação participante e da análise dos dados coletados visamos compreender "o que" foi vivenciado pelos alunos e "como" eles experimentaram e vivenciaram esse fenômeno.

Seguimos os passos recomendados por van Manen, Colaizzi e Moustakas (*apud* CRESWELL, 2014) para realizar a análise fenomenológica, que podem ser resumidos como:

- Identificação de declarações significativas: foram selecionadas declarações dos alunos que se destacaram por sua relevância e importância para a compreensão do fenômeno estudado;
- Criação de significados formulados: as declarações significativas selecionadas tiveram seus significados formulados a partir da nossa interpretação, buscando compreender significados subjacentes;
- Realização da *redução fenomenológica transcendental*: abordagem que visa compreender as essências estruturais da experiência através do fenômeno vivido pelos alunos;

- Formação de temas: uma vez formulados os significados, foram agrupados em temas de acordo com suas similaridades e relações, permitindo uma organização mais clara das informações que abrangeram todas as declarações dos alunos.
- Descrição dos temas: cada tema foi, então, descrito de forma detalhada, fornecendo uma compreensão abrangente das experiências e percepções dos alunos, relacionadas ao conteúdo apresentado.
- Descrição da essência da experiência: por fim, buscamos descrever a essência da experiência vivenciada pelos alunos, através de uma descrição profunda sobre o fenômeno.

Nos orientando por esses passos, não assumimos um papel neutro, pois todo o processo de análise fenomenológica não prescinde da interpretação do/a pesquisador/a, que busca obter uma compreensão mais acurada possível das experiências vivenciadas pelos alunos, em nosso caso em relação ao tema da Matéria e Energia Escura.

6.1 Apresentação de Resultados

Primeiramente, declaramos que a coleta dos dados se deu por meio das respostas dos estudantes aos Questionários Informativo Inicial e Questionário Final (transcrição completa no Apêndice C), das gravações em áudio das aulas ministradas (Apêndice F das declarações significativas); e da observação participante da pesquisadora, que esteve em contato com os comportamentos dos alunos, transcreveu os áudios, fez leituras e identificou *declarações significativas* que forneceram pistas sobre a experiência vivenciada pelos estudantes durante a aplicação do módulo didático. Destacamos que o termo “aluno”, sempre que utilizado neste trabalho, foi feito de forma neutra, sem nenhuma alusão a gênero.

Essas declarações significativas foram selecionadas a partir de citações diretas de falas dos alunos, que ilustram compreensões e respaldam as conclusões do estudo em relação às implicações como resultado da UD.

Dentre as respostas dos 42 alunos, participantes da pesquisa, foram extraídas 245 *declarações significativas* a partir dos dois Questionários, além de seis declarações provenientes das gravações em áudio das aulas, e 38 respostas obtidas por meio da votação direta feita com os alunos na última aula [como detalhado no relato da Aula 4], Também consideramos as expressões e comportamentos manifestados pelos alunos durante as aulas.

É importante destacar a grande discrepância entre o número de declarações dos alunos durante as aulas e aquelas obtidas nas respostas dos questionários. A análise dessas questões permite inferir alguns motivos possíveis, por exemplo, o tempo limitado para a familiarização entre a turma e a pesquisadora, pelo fato de termos ingressado em aula diretamente no primeiro dia da UD, tenha gerado algum constrangimento ou vergonha para interação em aula; outro ponto foi a abordagem de um conteúdo de Física Moderna e Contemporânea, de conhecimento limitado pelos alunos do EM, pode tê-los deixado inseguros. É preciso tempo para construir e reconstruir os conhecimentos prévios (MOREIRA, 2010). Além disso, conhecer o perfil da turma poderia ajudar, mas a pesquisa [a aplicação da UD] foi realizada em um curto período de tempo e impossibilitou uma análise aprofundada que poderia fornecer uma resposta definitiva.

De qualquer modo, a partir da análise interpretativa [com base nas falas/declarações e o contexto da nossa interação], e da organização dos significados, emergiram diversos “temas”, na linha especificada por Creswell (2014), totalizando sete “temas identificados”. Destacamos que para evitar confusão com os temas de Física/Cosmologia tratados na UD, escolhemos substituir, nesta análise, a expressão “temas” (CRESWELL, 2014) por “categorias de análise”.

Explicamos que ao expor as “declarações significativas” colocamos itálico para pontuar qual parte da fala nos chamou mais atenção e nos debruçamos para interpretar.

O Quadro 2 exemplifica “declarações significativas” [falas dos alunos] e os significados que formulamos a partir das respostas obtidas no Questionário Inicial, onde foram consideradas relevantes para a análise as respostas referentes às questões 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 9.

Quadro 2: Exemplos escolhidos de “declarações significativas” e seus significados formulados, a partir das respostas do Questionário Inicial (conhecimentos prévios).

Referente à questão (1): Qual sua disciplina favorita e qual você menos gosta? Por quê?	
Declaração significativa	Significado formulado
Aluno 27: <i>Educação física. Matemática. Uma me sinto livre [educação física], enquanto a outra [matemática] não consigo entender nada.</i>	A dificuldade em assimilar um conteúdo por meio de uma disciplina mais abstrata muitas vezes gera uma sensação de aprisionamento; sugerindo um sentimento associado à “Educação Física” de “ser livre”, disciplina escolar na qual o aluno parece ser capaz de ter controle sobre seu próprio processo de aprendizado.
Aluno 12: <i>Matemática, porque é de exatas. Sociologia, porque é de humanas</i>	Neste caso, o aluno parece revelar ter facilidade nas áreas ¹⁵ de Matemática e suas Tecnologias e Ciências da Natureza e suas Tecnologias; diferentemente do Aluno 27, sua fala demonstra pouco apreço pela área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas.
Aluno 14: <i>Química. Filosofia, acho chato e inútil.</i>	Esta fala sinaliza que as disciplinas mais apreciadas são as que tem um viés utilitarista; podendo surgir um obstáculo epistemológico relacionado ao conhecimento pouco <i>unitário e pragmático</i> (BACHELARD, 1996).
Aluna 26: <i>Favoritas: Matemática, história, física, química e sociologia, pois “adoro fazer cálculos” e “compreender a história da sociedade”. A que menos gosto é biologia, pois não gosto de ter que decorar coisas soltas, o que acontece com muitos conceitos nessa área.</i>	Alinhados ao nosso referencial teórico, interpretamos esta declaração como um reforço ao que já se sabe na literatura, ou seja, um conhecimento baseado apenas na memorização e armazenamento de informações não se revela eficiente no processo de aprendizagem (MOREIRA, 2010), e não se torna interessante ao aluno.
Referente à questão (2): Você gosta de Física? Comente sua resposta.	
Declaração significativa	Significado formulado
Aluno 1: <i>Mais ou menos, porque “não gosto de exatas”.</i>	Estas falas também estão bem mapeadas na literatura, disciplinas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias são consideradas difíceis (alunos não gostam), não raro por falta de uma estrutura cognitiva da matemática (PIETROCOLA, 2002).
Aluno 8: <i>Biologia. (...) pois sou de humanas</i>	
Aluno 7:	Interpretamos estas falas com otimismo, porque

¹⁵ Áreas do conhecimento em conformidade com a BNCC vigente a partir de 2018 (BRASIL, 2018)

<p><i>Sim e não, não tenho uma resposta específica, “depende qual parte da física”.</i></p> <p>Aluno 14: <i>Sim, mas depende da área, por exemplo, astrofísica é muito interessante, enquanto eu não gosto da maioria da matéria de Física do ensino médio.</i></p>	<p>a depender da forma (interessante e diversificada) de apresentar a Física pode gerar curiosidade e predisposição em aprender Física (MOREIRA, 2011) .</p>
<p>Aluno 13: não, acho “muito difícil” e “não me interessa”.</p>	<p>Parece demonstrar apatia, ou mesmo dificuldade na compreensão da Física, o que gera desinteresse no aprendizado. Seria preciso investigar mais profundamente.</p>
<p>Aluno 32: sim, é interessante quando você consegue entender as coisas.</p>	<p>Sentir-se confortável ao conceito apresentado gera sentimento positivo e é facilitador na aprendizagem.</p>
<p>Referente à questão (3): “Eu gostaria mais de Física se...” complete a sentença.</p>	
<p>Declaração significativa</p>	<p>Significado formulado</p>
<p>Aluno 7: <i>...se tivéssemos mais experiência e não só teoria.</i></p> <p>Aluno 22: <i>...se tivesse física nuclear nas escolas</i></p> <p>Aluno 19: <i>...se não tivesse tantas fórmulas</i></p>	<p>Aulas com metodologias diversificadas geram um interesse maior do que as aulas que se baseiam apenas no formulismo matemático, no quadro ou no livro texto, por exemplo (MOREIRA, 2010); Da mesma forma, assuntos relacionados à FMC (MOREIRA; OSTERMANN, 2000) geram interesse significativo e espaço para debates (TERRAZZAN, 1992).</p>
<p>Referente à questão (4): O que você acha mais interessante na Física? E menos interessante?</p>	
<p>Declaração significativa</p>	<p>Significado formulado</p>
<p>Aluno 7: <i>Os experimentos [interessante]. As contas [dificuldade].</i></p> <p>Aluno 14: <i>física moderna [interessante]. Grande parte da matéria do ensino médio, em especial, o conteúdo do primeiro ano [menos interessante]</i></p>	<p>Quando o aprendizado é ilustrado por experimentos, quando é atualizado e pode gerar compreensão do mundo contemporâneo, ele se torna mais atrativo, ao contrário do ensino baseado apenas em exercícios de lápis e papel e cálculos, que muitas vezes se apresentam como um obstáculo epistemológico (BACHELARD, 1996).</p>
<p>Referente à questão (5): Que tipo de assunto você gostaria que fosse abordado nas aulas de Física? Deixe um comentário sobre como seria uma aula de Física interessante para você e para a turma como um todo.</p>	

Declaração significativa	Significado formulado
<p>Aluno 10: <i>“Astrofísica acho um tema interessante”, gosto de aprender coisas novas sobre buracos negros, estrela etc.</i></p>	<p>Interpretamos que esta resposta reforça significados anteriores e achados da revisão da literatura: a Física Moderna e Contemporânea abrange temas que despertam a curiosidade dos alunos (BAROJAS,1988; ZOLLMAN, 2016; HOERNIG, 2020); temas atuais contrastam com os tópicos clássicos da Física, considerados menos motivadores.</p>
<p>Referente à questão (6): Você vê alguma utilidade em aprender Física? Comente sua resposta.</p>	
Declaração significativa	Significado formulado
<p>Aluno 23: <i>sim, muito útil, pois a Física está no nosso dia a dia (em tudo), desde a água que bebemos, até mesmo em construções.</i></p> <p>Aluno 31: <i>eu acho que depende por conta da profissão que você vai escolher</i></p>	<p>Nesta declaração a Física é reconhecida pelo aluno como a disciplina fundamental que descreve e explica os constituintes de toda matéria e a essência de tudo o que existe. O Aluno 23 tem uma visão adequada da ciência, ao passo que o Aluno 31 parece ter uma visão utilitarista, a relevância da Física varia de acordo com a área profissional escolhida.</p>
<p>Referente à questão (7): Quais dificuldades você costuma ter ao estudar Física?</p>	
Declaração significativa	Significado formulado
<p>Aluno 13: <i>“não consigo gostar” e compreender</i></p> <p>Aluno 17: <i>com as contas, principalmente com os expoentes</i></p>	<p>A compreensão em relação à disciplina de Física é afetada pela motivação; a falta de motivação pode estar associada (como refere o Aluno 17) à falta de conhecimentos básicos de matemática, já mapeado na literatura, como estruturante à física (PIETROCOLA, 2002).</p>
<p>Referente à questão (9): Você tem alguma ideia de como as teorias da Física e o conhecimento são adquiridos? As leis da Física você entende que são imutáveis, quer dizer, uma vez estabelecidas não podem mudar ou o conhecimento já estabelecido pode sofrer alguma alteração?</p>	
Declaração significativa	Significado formulado
<p>Aluno 14: <i>através de pesquisa, caso seja descoberto algo que refute uma lei física, “ela pode mudar”.</i></p> <p>Aluno 16: <i>é muito difícil mudar, a “ciência demorou anos para tudo isso”.</i></p>	<p>Nestas falas identificamos posturas epistemológicas diferentes. Os Alunos 14 e 24 mostram ter concepções adequadas da natureza da ciência (leis da física são mutáveis e questionáveis), ao passo que o Alunos 16 parece ver pouca possibilidade de mudanças e indica que a pesquisa científica é conduzida pelo método empírico, visão hoje superada</p>

<p>Aluno 24: <i>por meio da observação e experimentos. Acredito que de acordo com os novos conhecimentos adquiridos pode ser questionados leis anteriores</i></p>	<p>(MASSONI, 2005). Todos revelam que observação e experimentação são fundamentais para o avanço científico, e que a aquisição de novos conhecimentos pode levar à uma evolução das teorias já existentes, o que também pode ser entendido como uma concepção adequada, embora Bachelard insista que não se faz ciência só com materiais, nem só com idealismo.</p>
---	--

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Repetimos esse mesmo procedimento para o Questionário Final, para as falas das aulas gravadas em áudio e das oriundas do sistema de votação (onde as declarações significativas ocorreram em número muito menor)¹⁶ chegamos a um conjunto de sete temas, ou categorias de análise, como mostrado no Quadro 3.

Quadro 3: Apresentação das sete categorias construídas a partir das *declarações significativas* e com seus *significados formulados*.

Exemplos de declarações significativas	Significados formulados	Categorias de Análise
<p>Aluno 16: <i>“os cálculos, os meios para resolver as questões”</i></p> <p>Aluno 17: <i>“com as contas, principalmente com os expoentes”</i></p>	<p>Os alunos demonstram pouco conhecimento básico para manipular a matemática necessária para compreender Física, e relacioná-la à teoria.</p>	<p>Matemática básica</p>
<p>Aluno 26: <i>“memorizar fórmulas”</i></p> <p>Aluno 23: <i>“guardar nomes e abreviações”</i></p>	<p>As fórmulas não têm relação significativa com a teoria que se estuda, ficando um conhecimento solto, sem significado para o aprendiz.</p>	<p>Aprendizado sem significado</p>
<p>Aluno 1: <i>“Mais ou menos, porque não gosto de exatas”</i></p> <p>Aluno 8: <i>“Biologia. (...) pois sou de humanas”</i></p>	<p>Os alunos, em geral, separam os saberes escolares em duas grandes áreas: <i>humanas</i> e <i>exatas</i>, tendo como justificativa terem dificuldade com a área oposta à escolhida, ou favorita.</p>	<p>Humanas versus exatas</p>
<p>Aluno 10: <i>“para mim não vejo utilidade, pois não utilizo muito no meu dia a dia”</i></p>	<p>Se o conhecimento físico não tem uma relação clara com problemas do cotidiano ou com a profissão que será seguida, não desperta curiosidade, nem necessidade de ser aprendido; não vêem utilidade.</p>	<p>Utilitarismo</p>

¹⁶No Apêndice F estão detalhadas as declarações significativas e seus significados formulados

<p>Aluno 15: <i>“dependendo de qual faculdade você quer fazer, a Física é útil”</i></p>		
<p>Aluno 17: <i>“mais interessante como ela se aplica facilmente no mundo real ...”</i></p> <p>Aluno 24: <i>“ela é essencial para sabermos como fazer ou identificar várias coisas”</i></p>	<p>A Física, para alguns, é vista como a explicação para vários fenômenos do dia a dia, estando diretamente relacionada com tudo que existe, manifestando, assim, que explicar o porquê das coisas seria o sentido de aprender Física.</p>	<p>O porquê das coisas</p>
<p>Aluno 8: <i>“gostaria de aprender com mais experimentos”</i></p> <p>Aluno 34: <i>“fosse mais prático mostrando as teorias”</i></p>	<p>Expressa uma visão de ciência superada, de que a Física surgiria da observação direta dos fenômenos e objetos; precisa ser “vista” para ser compreendida. A concepção parece estar relacionada a testar as teorias na prática, aprender através do laboratório, fazer ciência através da descoberta, do desvelar. Visão muito associada à crença no método científico experimental como um caminho seguro para se obter leis e teorias.</p>	<p>Física de laboratório</p>
<p>Aluno 25: <i>“as teorias de Einstein, buracos negros, buracos de minhoca, matéria escura”</i></p> <p>Aluno 27: <i>“assuntos sobre astronomia, universo, galáxias, planetas, estrelas...”</i></p>	<p>Surge na interação em sala um interesse em ampliar o conhecimento de Física para além do conteúdo programático regular da escola; o interesse é direcionado para temas de FMC como buracos negros, buracos de minhocas, astrofísica etc. Não é incomum referirem-se a filmes, documentários, etc.</p>	<p>Novos conhecimentos</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

As categorias identificadas no Quadro 3 passam a ser, uma a uma, melhor explicitadas na seção subsequente.

6.2 Discussão dos Resultados

A estrutura da análise, como já dito, foi fundamentada na metodologia fenomenológica de Colaizzi (1978 *apud* CRESWELL, 2014), que nos guiou no processo de compreensão dos significados subjacentes à experiência vivida pelos

alunos, captada por suas falas. Utilizando a abordagem de Colaizzi, identificamos as declarações significativas e geramos os significados correspondentes (como ilustrado no Quadro 2) a partir de reflexões profundas das declarações significativas, permitindo uma exploração tanto dos aspectos epistemológicos que foram surgindo, como de aspectos teóricos e indicativos de compreensão dos alunos dos temas “matéria escura” e “energia escura”.

Os significados epistemológicos foram formulados à luz da epistemologia da visão de ciência de Bachelard (1971, 1978, 1996), com foco em duas de suas principais obras: "A formação do espírito científico" e "A filosofia do não". Além disso, também foram consideradas as principais ideias presentes no livro intitulado "A epistemologia".

Complementarmente, a metodologia de Moustakas (1994) foi empregada para gerar as “categorias de análise ou temas” que emergiram dos dados coletados. Essa abordagem, conhecida como *redução fenomenológica transcendental*, envolveu uma análise das declarações significativas e de seus significados formulados, a fim de identificar certos padrões e as conexões, resultando na criação das “categorias de análise”.

Na sequência, fazemos a discussão de cada uma das categorias de análise obtidas, buscando sustentá-las articulando falas dos alunos com nossos referenciais e com a literatura.

6.2.1 Categoria 1: Matemática básica

Esta categoria aborda um aspecto que consideramos essencial em nossos achados: a dificuldade dos alunos em compreender os conceitos da Física relacionada a lacunas, ou ausência de conhecimentos de Matemática, enquanto estruturante da Física. Isto se apresenta como uma barreira ao ensino-aprendizagem uma vez que os conceitos científicos exigem, cada vez mais, um nível de abstração, se distanciando das impressões primeiras, do materialismo ingênuo (BACHELARD, 1996) e das aplicações do cotidiano (PIETROCOLA, 2002).

Os significados formulados a partir das declarações dos alunos participantes apontam para a importância de uma compreensão adequada da estrutura da Matemática, fundamental à construção e compreensão do conhecimento físico.

A compreensão dos resultados relacionados a esta categoria permite uma reflexão sobre possíveis estratégias de ensino para facilitar a abordagem da matemática, visando uma aprendizagem mais significativa (MOREIRA, 2003).

O Quadro 4 traz um conjunto mais abrangente de significados e algumas falas reforçadoras que buscam sustentar as “reduções significativas” associadas a esta categoria.

Quadro 4: reduções significativas formuladas à Categoria 1.

Categoria 1: Matemática básica		
Declarações Significativa reforçadoras	Significado Formulado	Redução Significativa Formulada
<p>Aluno 27: <i>“Educação Física. Matemática. Uma me sinto livre, enquanto a outra não consigo entender nada.”</i></p> <p>Aluno 21: <i>“gosto sim, apesar de às vezes demorar para aprender cálculos”</i></p>	<p>A dificuldade em assimilar um conteúdo por meio de uma disciplina mais abstrata muitas vezes gera uma sensação de aprisionamento; sugerindo um sentimento associado à Educação Física de “ser livre”, disciplina escolar na qual o aluno parece ser capaz de ter controle sobre seu próprio processo de aprendizado.</p> <p>A motivação do aluno em relação aos conteúdos de Física pode ser positiva, no entanto, a falta de habilidades desenvolvidas em cálculos pode se tornar um obstáculo para a sua aprendizagem (BACHELARD, 1996).</p>	<p>A matemática dificulta a aprendizagem da Física;</p> <p>Sensação de aprisionamento;</p> <p>Receio em relação ao conhecimento apresentado por ser das exatas;</p> <p>Cálculos que não fazem sentido ao aluno geram dificuldade no ensino-aprendizagem de física;</p> <p>A notação científica não compreendida causa confusão e dificuldades;</p> <p>Partindo de conhecimentos mais abrangentes, os cálculos podem fazer sentido.</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

As dificuldades apresentadas pelos estudantes com relação à Matemática, mesmo para aprender temas considerados interessantes e atuais, estão mapeadas na literatura.

Por exemplo, Proença *et al.* (2022) conduziram uma investigação sobre as dificuldades dos alunos no domínio da Matemática, utilizando uma metodologia centrada na resolução de problemas matemáticos. A proposta foi apresentada considerando três aspectos fundamentais: “o fato de que os conteúdos foram [deveriam ter sido] estudados pelos alunos; a natureza e o uso dos “problemas”; e a retomada dos conteúdos” (PROENÇA *et al.*, 2022). Ao aplicar essa abordagem em etapas para a resolução de problemas, os autores conseguiram mapear e categorizar as principais dificuldades enfrentadas pelos alunos em cada fase do processo.

Serra *et al.* (2020) fizeram uso de modelagens matemáticas que respeitassem a conservação de energia para analisar um motor-foguete no estudo da Termodinâmica, estratégia que pode ter sérios entraves se houver lacunas de conhecimentos matemáticos. Neide *et al.* (2019) relataram dificuldades nas aproximações da Física com a Matemática no uso do *software Modellus* em sala de aula, esta foi tomada como uma das principais diferenças quando a estratégia é comparada com formas tradicionais de ensinar Física.

Nossa investigação reforça esses achados, na voz dos alunos, ao expressarem que a falta de domínio da Matemática causa sensação de aprisionamento e insegurança, de maneira que “matemática básica” surge como um entrave à aprendizagem da Física.

Bachelard (1973; 1996) diz que a resistência dos alunos [aos cálculos] é alimentada pela crença de que a Matemática é abstrata e distante da realidade concreta, de maneira que “o espírito pré-científico” vê a Matemática como algo complexo e desnecessário. Além disso, considera que a compreensão dos fenômenos físicos pode ser alcançada apenas por observação e descrição qualitativa. Quando fórmulas são entendidas como um conjunto de números à espera, bastando aplicá-los a cada caso particular, isto incita a *preguiça intelectual*. **O fenômeno físico precisa ser compreendido como fenômeno e como número.** Conforme Bachelard (1971), é fundamental conciliar a Matemática e a experiência para uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos. Este parece ser um importante papel dos professores da área, para tentar mudar o cenário que encontramos em sala de aula.

6.2.2 Categoria 2: Aprendizado sem significado

Nesta categoria reunimos falas de alunos que atrelaram o ensino-aprendizagem de Física à memorização de fórmulas, sem que estas se relacionem aos fenômenos físicos, podendo se tornar um obstáculo pedagógico às suas aprendizagens. O Quadro 5 ilustra as reduções significativas a que chegamos, na linha de que o aluno já detém a pré-concepção que “precisará” decorar todas as fórmulas para que seu rendimento seja positivo (BACHELARD, 1996).

Quadro 5: Exemplos de falas, e reduções significativas formuladas na Categoria 2.

Declarações Significativas reforçadoras	Significado Formulado	Redução Significativa Formulada
<p>Aluno 10: <i>“dificuldade em entender as fórmulas”</i></p> <p>[Gostaria de Física se não tivesse]... <i>palavras difíceis</i></p> <p>Aluno 23: <i>“guardar nomes e abreviações”</i></p> <p>Aluno 32: <i>“se eu conseguisse entender tudo o que a professora explica”</i></p> <p>Aluno 39: <i>“se eu conseguisse entender mais a matéria com facilidade”</i></p>	<p>Em consonância com nosso embasamento teórico, as falas indicam que a aprendizagem com significado de novos conceitos não ocorre quando se reduz à memorização de fórmulas; muitas vezes a Física é associada a fórmulas. Para Moreira (2010), trata-se de uma aprendizagem mecânica, sem que haja interação entre os novos conhecimentos com os saberes que o aluno já traz para a sala de aula.</p>	<p>Conteúdo baseado em aprendizagem mecânica, a partir da memorização sem conexões, se torna insignificante;</p> <p>Não contextualização dos conceitos da Física é um conhecimento raso;</p> <p>Aulas repetitivas, sem dinâmicas diversificadas, sem contextualização, geram uma relação de tédio;</p> <p>Não compreender com significado o conteúdo apresentado resulta em uma sensação de estar incapacitado.</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Um ensino de Física baseado na aprendizagem mecânica, centrado na memorização de fórmulas descontextualizadas pode resultar em um conhecimento fragmentado e sem significado para o aprendiz (MOREIRA, 2010). Trata-se de uma abordagem que propicia que a Física seja percebida como um conjunto de equações e procedimentos matemáticos, sem que se compreenda a relação com os conceitos e teorias fundamentais subjacentes. As fórmulas se tornam meras ferramentas para resolver exercícios, sem uma compreensão profunda do fenômeno físico em questão.

Essa abordagem reducionista da Física pode resultar em um aprendizado superficial, desmotivador, que logo é esquecido. Os estudantes não conseguem fazer conexões entre os conceitos e sua aplicação no mundo cotidiano, levando ao desinteresse pela disciplina. Além disso, a falta de compreensão da teoria subjacente dificulta a transferência de conhecimento para situações novas e complexas.

O ensino da física enfrenta, mesmo no século XXI, diversos desafios que comprometem a aprendizagem significativa crítica dos alunos. Muitas vezes, os estudantes acabam memorizando de forma mecânica fórmulas, definições e respostas corretas apenas para reproduzi-las em provas. Para Moreira (2018), essa abordagem está enraizada em uma cultura de ensino voltada para testes e avaliações, em que as escolas se tornam meros centros de treinamento do que espaços educacionais; professores e alunos são submetidos a uma cultura de preparação para o mercado, em que o foco está em atingir resultados pontuais, muitas vezes negligenciando a compreensão profunda dos conceitos.

Nesse contexto, fica evidente a relevância da compreensão dos conceitos no processo de ensino-aprendizagem da Física. No entanto, um aspecto fundamental que ainda é pouco abordado é o papel das situações. "São as situações que conferem significado aos conceitos" (VERGNAUD *apud* MOREIRA, 2021). Assim, para que os novos conhecimentos sejam assimilados de maneira significativa, é essencial que eles façam sentido ao aluno. As sugestões de Moreira (2021) é utilizar problematizações, apresentadas em um gradual aumento de complexidade e abstração, levando em consideração o contexto específico do aluno; iniciar com situações que sejam próximas ao ambiente e vivência do estudante e, aos poucos, avançar para situações mais desafiadoras, permitindo a internalização dos conceitos abordados.

Bachelard (1996) alerta sobre a importância de aproximar a Física ao cotidiano, dando-lhe sentido.

Peguem um livro científico do século XVIII e vejam como está inserido na vida cotidiana. O autor dialoga com o leitor como um conferencista. Adota os interesses e as preocupações naturais. Por exemplo: quer alguém saber a causa do trovão? Começa-se por falar com o leitor [...]" (BACHELARD, 1996, pg.31).

Dessa forma, fica evidenciado que o ensino da Física deve ir além da mera reprodução e memorização de fórmulas e definições. A contextualização dos conceitos em situações vivenciais, a estimulação de atividades investigativas, o uso

da História e Filosofia da Ciência para propiciar reflexão, a resolução de situações-problema (PRATES JÚNIOR; SIMÕES NETO, 2015) são boas sugestões para promover um ambiente de aprendizagem que valorize a compreensão dos conceitos, e supere a rotina de memorização de fórmulas, como apontam os alunos em nossa pesquisa.

6.2.3 Categoria 3: *Humanas versus Exatas*

Nesta categoria reunimos falas que se repetiram e que demonstram que os alunos tendem a separar as disciplinas em duas grandes áreas, humanas e exatas, com base em seus interesses e preferências pessoais. Essa segmentação observada entre os alunos parece refletir, em certa medida, a dicotomia e as tensões existentes entre as ciências naturais e sociais que são/foram debatidas nas "science wars", ou seja, na guerra das ciências (CASTAÑÓN, 2009).

O Quadro 6 expõe algumas dessas concepções e as reduções significativas a que chegamos.

Quadro 6: Exemplos de falas, e reduções significativas correspondentes à Categoria 3.

Declarações Significativas reforçadoras	Significado Formulado	Redução Significativa Formulada
<p>Aluno 5: "Minha favorita é Geografia. As que menos gosto são a maioria das exatas."</p> <p>Aluno 8: Biologia. (...) pois sou de humanas</p> <p>Aluno 10: "Matemática, prefiro exatas a Sociologia".</p> <p>Aluno 25: "Gosto de exatas no geral e odeio humanas"</p>	<p>Os alunos, em geral, separam em duas grandes áreas as disciplinas escolares, <i>humanas</i> e <i>exatas</i>; Usam como justificativa ter dificuldade com a área oposta à escolhida, ou favorita.</p>	<p>Disciplinas das exatas favorece o interesse à aquisição do conhecimento, para aqueles que têm facilidade, em oposição às disciplinas das humanas; Área de Humanas é mais fácil de compreender, para outros; Para alguns, só interessa a área das exatas.</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Essas preferências podem ser influenciadas por diferentes formas de conhecer, distintas visões de mundo e até mesmo por fatores sociais, educacionais e culturais. A "*science war*" nos alerta para a importância de superar essa dicotomia e buscar uma abordagem mais integrada, reconhecendo que tanto as ciências naturais quanto as sociais têm um papel fundamental na compreensão do mundo e no enfrentamento dos desafios contemporâneos (BOUGHN, 2023).

Uma abordagem que promova o diálogo e a colaboração entre as diferentes áreas do conhecimento se faz necessária para criar espaços que incentivem a superação de estereótipos e segmentações do conhecimento, possibilitando a que o aluno explore as interconexões e complementaridades entre as diferentes disciplinas, valorizando tanto as ciências humanas quanto as exatas e, assim, amplie sua compreensão e visão de mundo, de forma a desenvolver um diálogo crítico como sociedade (CAVALCANTI, 2007).

Entendemos que ensinar Física como parte da cultura, uma cultura científica que é história e social, pode contribuir para que se reduza essa fragmentação (humanas *versus* exatas).

6.2.4 Categoria 4: “Utilitarismo”

A falta de conexão entre os conceitos físicos e sua aplicação no cotidiano pode ter um impacto significativo no engajamento e na forma como os estudantes percebem a relevância (ou não) do estudo da Física. Quando os estudantes não conseguem visualizar como o conhecimento físico pode ser importante em suas vidas diárias, ou em suas áreas de interesse, eles, em geral, consideram a Física como algo distante e abstrato, o que pode levar à perda de interesse e motivação na aprendizagem. Essa falta de conexão também pode ser entendida como um obstáculo pedagógico, onde a falta de percepção da relevância dos conceitos físicos dificulta sua compreensão mais profunda e significativa.

Bachelard destaca a importância de termos prudência ao considerar a utilidade do conhecimento como um elemento essencial para uma cultura objetiva. Ele ressalta

que explicações finalistas acerca do verdadeiro conhecimento - em função da utilidade - acaba por reduzir o conhecimento a uma mera ferramenta para atingir determinados fins. Diz que é necessário encontrar um equilíbrio entre a compreensão da utilidade do conhecimento físico [sua aplicação em nosso cotidiano, por exemplo] e uma abordagem mais ampla e objetiva da cultura científica.

Para Bachelard (1996), fixar-se no utilitarismo é, em última análise, ter um obstáculo epistemológico, que no âmbito do ensino-aprendizagem pode ser interpretado como um obstáculo pedagógico; são entorpecimentos, confusões, por necessidade funcional do espírito científico [aquele que acede ao conhecimento]. É neste sentido que Bachelard (1991) fala na “filosofia do não”, explicando que sempre se aprende contra um conhecimento anterior, dizendo não a um conhecimento mal adquirido. Desta forma, superar o utilitarismo excessivo seria um dos objetivos [não o único] da formação científica básica. Para ele, retificar, corrigir o “erro” permite reconstruir o pensamento científico.

O Quadro 7 traz algumas percepções de alunos em relação à utilidade do conhecimento da Física, evidenciando, de um lado, a relação entre essa utilidade e suas aspirações futuras no contexto profissional, de outro, percebem sua contribuição para a construção de novas visões de mundo.

Quadro 7: Exemplo da Categoria 4 - Utilitarismo - com as reduções significativas formuladas

Declaração Significativa	Significado Formulado	Redução Significativa Formulada
<p>Aluno 19 : <i>“sim, conhecer a Física é bom dependendo da área com que você pretende trabalhar”</i></p> <p>Aluno 31 : <i>“eu acho que depende por conta da profissão que você vai escolher”</i></p> <p>Aluno 1 [Questionário Final, se referindo à utilidade da UD] <i>“Sim, pois além de obter novos conhecimentos, ajudou a abrir novas visões e percepção diante a matéria escura e o universo”</i></p>	<p>Se o conhecimento físico não tem uma relação clara com problemas do cotidiano ou com a profissão que será seguida, não desperta curiosidade, nem necessidade de ser aprendido; não vêem utilidade.</p> <p>Por outro lado, alguns percebem a importância dos novos conceitos e ideias para o crescimento de seu conhecimento.</p>	<p>Remete a uma “inutilidade” de um conhecimento, bastante fundamentada na desconexão deste com o interesse do aluno;</p> <p>A dificuldade de perceber a razão de aprender Física desmotiva o aprendizado.</p> <p>Em oposição, alguns estudantes (e.g., Aluno 1) percebem que o aprendizado da Física contribui com sua formação científica geral.</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Ao investigar as razões por trás desse senso de utilidade associado aos conhecimentos físicos, é inevitável considerar a influência das políticas públicas educacionais. Surge, então, a reflexão sobre o propósito último da educação formal, que muitas vezes se concentra mais na criação de uma força de trabalho do que no desenvolvimento da autonomia do indivíduo (PUGLIESE, 2017).

Diante dessa perspectiva, é crucial questionar o papel da Física como disciplina formadora e estruturante da ciência no contexto educacional; é fundamental reconhecer que o conteúdo de Física na Educação Básica é influenciado por uma hierarquia que mantém a lógica da produção capitalista, limitando a autonomia e a capacidade crítica, tanto dos professores quanto dos estudantes (PUGLIESE, 2017).

Essa reflexão levanta questões pertinentes sobre a finalidade e o conteúdo da educação em Ciências, em particular da Física, destacando a importância de repensar os objetivos educacionais e buscar uma abordagem que promova uma formação mais abrangente e crítica. É necessário repensar o currículo da Física, considerando tanto os aspectos científicos quanto as dimensões sociais, éticas e políticas envolvidas. Este aspecto aparece na fala do Aluno [Questionário Final] que, como já dito, percebe que aprender novos conceitos e ideias no ambiente educacional promove novas visões de mundo, e poderíamos interpretar que contribui com a autonomia e o pensamento crítico.

6.2.5 Categoria 5: O porquê das coisas

A percepção do conhecimento da Física como sendo devotado a explicações para diversos fenômenos do mundo reflete a busca por compreender e desvendar os aspectos fundamentais da natureza. Esta visão abrange a ideia de que a Física está intrinsecamente ligada a tudo o que existe no mundo, desde os eventos mais simples e familiares até os mais complexos e abstratos.

Quando os estudantes reconhecem a Física como a chave para explicar os fenômenos ao seu redor, surge um interesse genuíno em compreender os princípios fundamentais que regem o funcionamento do universo. Eles percebem que a Física

proporciona uma base sólida para a compreensão de uma ampla gama de fenômenos, “[...] desde a água que bebemos, até mesmo em construções” (Aluno 23, Questionário Inicial).

Apresentamos no Quadro 8 declarações que ilustram o anseio dos alunos em adquirir conhecimentos de Física que sejam relevantes para o seu cotidiano, auxiliando na solução de problemas. Essas declarações apontam para a busca por uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2010), em que os conceitos e princípios físicos possam ser aplicados de maneira prática para entender as coisas do dia a dia dos alunos.

Quadro 8: Exemplos de declarações sobre “o porquê das coisas” e as reduções significativas formuladas.

Declaração Significativa	Significado Formulado	Redução Significativa Formulada
<p>Aluno 3: <i>“sobre algo aplicável na vida real, e que nos ajudasse no dia a dia”</i></p> <p>Aluno 20: <i>“sim, Física está sempre presente no nosso cotidiano”</i></p> <p>Aluno 23 <i>“[...]explica] desde a água que bebemos, até mesmo em construções”</i></p> <p>Aluno 4 [Questionário Final] <i>“sim, ajudou [se referindo à UD], a física é um estudo com infinitas coisas a serem estudadas”</i></p>	<p>A Física, para alguns, é vista como a explicação para vários fenômenos do dia a dia, estando diretamente relacionada com tudo que existe, manifestando o sentido de aprender [Física]</p>	<p>A física explica tudo que existe, demonstra uma noção, adequada de que os conhecimentos de física estão em tudo o que existe no mundo; A ciência adquire relevância por buscar compreender uma variedade “infinita” de fenômenos e objetos do Universo.</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Um estudo realizado por Ricardo e Freire (2007) apresentou resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa. Por meio de questionários que abordaram a relevância do ensino de Física entre estudantes do Ensino Médio, obtiveram que a maioria dos participantes expressou uma visão positiva em relação ao conhecimento físico, destacando sua importância para explicar os fenômenos do cotidiano. Os

alunos reconheceram a Física como uma disciplina abrangente e fundamental para compreender o mundo ao nosso redor.

A percepção da Física como uma explicação para diversos fenômenos do cotidiano parece refletir um desejo de alguns estudantes investigados de compreender os aspectos aplicáveis dos conceitos, de forma significativa, a fenômenos do cotidiano, daí suas falas se encaminharem à ideia de que a Física está conectada a tudo o que existe no mundo, desde os eventos mais simples e familiares até os mais complexos e abstratos.

Para Moreira (2010), o conhecimento individual é construído superando erros, como nos ensina Bachelard (1991). Porém, Moreira alerta que quando compreendemos algo somos capazes de descrever, explicar e fazer previsões; além disso, o construtor do modelo [o aprendiz, o aluno] deve ser capazes de fazer auto-correções decorrentes do erro, isto é, da não funcionalidade do modelo construído em sua mente para de explicar e descrever as coisas do mundo. Este é um caminho fértil para que ocorra uma aprendizagem com significado. Os professores, entretanto, precisam compreender que para ampliar a aprendizagem dos alunos, os problemas, os exemplos e a finalidade mesma da aprendizagem somente ganha sentido quando se parte da vivências concretas dos alunos.

6.2.6 Categoria 6: Física de laboratório

Inúmeras declarações significativas obtidas nesta pesquisa expressam que os alunos não gostam de Física devido à ênfase excessiva na teoria e nos cálculos complexos, que muitas vezes não são compreendidos, como já discutido na Categoria 1. Nesse sentido, apontam uma preferência por aulas práticas, e por uma abordagem mais dinâmica da Física.

O Quadro 9 traz exemplos de falas dos alunos ao mencionarem aulas experimentais para que possam aprender mais sobre os conteúdos trabalhados na Física.

Quadro 9: Exemplos de falas sobre a Física de laboratório, e as reduções significativas formuladas.

Declaração Significativa	Significado Formulado	Redução Significativa Formulada
<p>Aluno 22: “..., dependendo do conteúdo uma demonstração experimental pode ser interessante”</p> <p>Aluno 12: “nos colégios existissem mais aulas práticas”</p> <p>Aluno 8: “gostaria de aprender com mais experimentos”</p> <p>Aluno 3 [Questionário Final] [gostaria mais de Física se...] as aulas nos mostrassem exemplos e experimentações palpáveis, e simplificadas da Física em si. Porque tudo é física, mas não temos essa noção. (grifo nosso).</p>	<p>Podemos interpretar de dois modos a preferência por experimentos e testes. De um lado, podem expressar uma visão de ciência, do ponto de vista epistemológico, superada; sugerindo que a Física (os fenômenos e objetos) precisam ser “vistos” para serem compreendidos. Trata-se de uma concepção relacionada à descoberta de regularidades, ao uso de um método científico universal, como um caminho seguro para obter leis e teorias. Por outro lado, as falas parecem apontar que o uso de experimentos e “exemplos palpáveis” [Aluno 3, Questionário Final] facilitam o aprendizado e tornam a Física mais interessante.</p>	<p>É desejável mais aulas com experiências;</p> <p>Experimentos tornam a física interessante;</p> <p>Experienciar a física em contraste à física teórica;</p> <p>Aulas dinâmicas [envolvendo demonstrações e experimentos] propiciam gosto pelo conhecimento da Física, e podem integrar, de forma positiva, novas tecnologias.</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Araújo e Abib (2003) apontam que, ao longo do tempo, houve muitos estudos voltados para os problemas do ensino em geral e mais especificamente para o Ensino de Física. Esses estudos têm buscado apresentar propostas que promovam a participação ativa dos alunos, os capacitando a compreender os avanços tecnológicos e sociais de forma crítica. Apontam que o uso de atividades experimentais tem sido considerado uma estratégia eficaz para que o Ensino de Física tenha êxito para uma compreensão significativa e crítica do campo do conhecimento.

Massoni (2014) investigou os efeitos e o papel de atividades de laboratório no ensino-aprendizagem de Física junto a estudantes de engenharias; assumiu a hipótese de que esses estudantes podem perceber a Física como sendo um campo voltado à aplicabilidade das leis, princípios e teorias. Os resultados confirmaram em boa medida essa hipótese, apontando para uma maior efetividade de aulas experimentais pautadas em problemas abertos, do tipo “situação-desafio”; estes trazem vantagens didáticas e epistêmicas frente a atividades experimentais pautadas

por roteiros fechados, que mais se associam a uma aprendizagem mecânica, pouco significativa.

Oliveira, Araujo e Veit (2017) realizaram uma extensa revisão de literatura sobre problemas abertos. Obtiveram que atividades de resolução de problemas abertos são consideradas frutíferas ao desenvolvimento acadêmico e profissional, mas são pouco implementadas nos contextos de ensino; há propostas de usos de problemas abertos a partir da abordagem investigativa, buscando desenvolver situações argumentativas (e.g., cenas de filmes, artigos históricos, acidente de trânsito, videoanálises de vídeos de internet), mas há uma tendência das metodologias de ensino estarem fundamentadas em tentativa e erro; e perceberam uma ausência de embasamentos em teorias de aprendizagem. Para Bachelard (1996), é importante destacar que apesar da possível efetividade da experimentação, deve haver uma preocupação em relação ao significado atribuído [pelo aluno] a essas atividades. Há o perigo do “obstáculo quantitativo” em que o espírito pré-científico busca fundamentar a compreensão da Física exclusivamente na experiência física [na experiência direta e em observações empíricas], negligenciando a importância da informação matemática, o que obstaculiza a aquisição da cultura científica que fundamenta o pensamento crítico.

Voltamos ao assunto apenas para acrescentar algumas observações relativas ao interesse, de certa forma pueril, que as ciências experimentais provocam e para propor uma interpretação particular desse interesse. **Nossa tese é a seguinte: o fato de oferecer uma satisfação imediata à curiosidade, de multiplicar as ocasiões de curiosidade, em vez de benefício pode ser um obstáculo para a cultura científica.** Substitui-se o conhecimento pela admiração, as idéias pelas imagens.” (BACHELARD, 1996, p. 36).

Nesse contexto, Araújo e Abib (2003) realizaram uma revisão de literatura dos trabalhos publicados sobre atividades experimentais no ensino de Física com o objetivo de compreender as possibilidades e tendências em diversos aspectos metodológicos e ênfases, como, por exemplo, a ênfase matemática e do/no cotidiano, que também surgem em nossa pesquisa. Os trabalhos analisados compreendem o período de 1992 a 2001 e apontaram que metodologias experimentais, tanto de natureza demonstrativa, de verificação ou investigação, fomentam um ambiente propício ao aprendizado científico, aproximando os estudantes do conhecimento, e auxiliando na capacidade de reestruturação conceitual. Nesse estudo, publicado em 2003, quando a tecnologia ainda não era tão acessível, foi destacado que o uso de

computadores em atividades experimentais tem o potencial de facilitar a aprendizagem.

Ainda no contexto do uso de tecnologias para auxiliar o ensino de Física, Moreira (2021) aborda os aspectos didáticos que deveriam fazer parte das aulas de Física, mas que ainda não estão presentes devido a uma cultura de ensino baseada na testagem [testes e provas], em que o foco principal é acertar questões para provas e vestibulares, sem priorizar uma aprendizagem significativa. Discute, assim, a possibilidade de "laboratórios virtuais", em que o autor dialoga sobre complementaridade dos conceitos teóricos e a experimentação, apontando essa complementaridade como essencial para uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos. Contudo, diz que ainda predomina, nas salas de aula, o modelo expositivo tradicional, sendo que uma das justificativas é a falta de infraestrutura dos laboratórios nas escolas. Diante desse panorama, Moreira (2021) defende que uma alternativa viável nos dias atuais são os laboratórios virtuais, e que os alunos podem desenvolver competências científicas através do uso de computadores e celulares.

Podemos notar que os estudos aqui analisados (ARAÚJO; ABIB, 2003; MASSONI, 2014; MOREIRA, 2021), embora com décadas de intervalo temporal entre eles, apontam vantagens didáticas das atividades experimentais, mostrando que tal estratégia é importante, e que a tecnologia pode ser uma ferramenta com grande potencial no Ensino de Física. As falas dos nossos alunos corroboram esses resultados. O importante é que o professor encontre o equilíbrio e a diversificação necessárias para evitar que se tornem [as atividades experimentais] um obstáculo à aprendizagem científica teórica abstrata.

Em outro estudo de revisão de literatura, realizado por Higa e Oliveira (2012), que abrangeu os aspectos epistemológicos e pedagógicos de trabalhos publicados entre os anos de 2002 e 2011, foi possível identificar que as abordagens experimentais se concentravam em dois enfoques principais: o primeiro, destacava a valorização da aprendizagem, em que o objetivo era promover a compreensão das atividades científicas e incentivar a integração entre os conhecimentos teóricos e práticos; o segundo, buscava valorizar a interação em sala, com ênfase na participação ativa dos alunos nas atividades experimentais, na promoção das relações sociais e na efetivação da interdisciplinaridade.

Outros estudos que abordam a aplicação prática de atividades experimentais no Ensino de Física, como Celestino *et al.* (2018) e Santos e Dickman (2019), foram realizados no Ensino Médio, enquanto o estudo de Selau *et al.* (2019) foi implementado em um curso de graduação em Licenciatura em Física. Todos estes três estudos apresentaram uma contribuição positiva das atividades de laboratório e demonstrações para uma aprendizagem significativa, permitindo ao aluno ter um domínio maior sobre os conceitos, desenvolvendo a capacidade de ressignificar estes, e de desenvolver uma atitude crítica frente aos novos conhecimentos.

Existem trabalhos que se debruçam na montagem de experimentos e materiais para incentivar professores na discussão, e alunos na aprendizagem de aspectos variados da Física e Astronomia (e.g., FREITAS, SANTUCCI; MARQUES, 2021). Estes autores, no entanto, destacam a necessidade de tempo e cuidado com montagens experimentais acuradas.

Contudo, para além do “obstáculo quantitativo” antes discutido, o tempo é uma das variáveis mais problemáticas que vislumbramos em nossa aplicação da UD, materializa-se em uma carga horária reduzida para a disciplina de Física, insuficiente para discutir os temas com a profundidade adequada tanto à compreensão conceitual como experimental e de cálculos.

6.2.7 Categoria 7: Novos conhecimentos

O interesse em ampliar o conhecimento de Física para além do conteúdo programático da escola reflete, em muitos casos, a curiosidade e o fascínio dos estudantes pelos mistérios do universo. As falas demonstram interesse em explorar temas mais avançados da Física Moderna e Contemporânea (FMC), como enigmas do universo, buracos negros, buracos de minhoca, Astrofísica e outros tópicos que vão além do que é abordado nas aulas convencionais (FRÓES, 2014).

Esta inclinação por temas de FMC pode ser atribuída a vários fatores. Em primeiro lugar, a divulgação científica e os avanços tecnológicos têm permitido que os estudantes tenham acesso a informações e descobertas fascinantes no campo da

Física. As mídias sociais, documentários, filmes e livros populares sobre ciência despertam sua curiosidade e os incentivam a querer explorar tópicos mais complexos.

Alves-Brito, Massoni e Guimarães (2020) colocam que divulgadores científicos de todos os tipos (jornalistas, cientistas amadores, professores, animadores culturais, cineastas, produtores de peças teatrais, pessoal de marketing) têm se articulado, de maneira crescente, pela ampliação dos meios de comunicação de massa, e têm assumido um papel fundamental no processo de transferência e transformação de conhecimentos entre o universo de produção científica e a sociedade. Destacam também que esse processo pode, e muitas vezes é, contaminado por *fake news*, pós-verdades e outras teorias que colocam em evidência subjetividades, crenças não científicas etc.

De todo modo, esse interesse dos estudantes em explorar tópicos avançados da Física Moderna e Contemporânea (FMC) está em consonância com o conceito de formação do “espírito científico” proposto por Bachelard. O espírito científico é marcado por uma postura aberta e receptiva a mudanças e rupturas nos paradigmas científicos estabelecidos (BACHELARD, 1971; 1996). Bachelard argumenta ainda que o conhecimento científico não é estático, mas se trata de um processo contínuo, de construção e reconstrução de conceitos e é, necessariamente, marcado por um pluralismo metodológico, filosófico e teórico. Nesse contexto, o espírito científico [especialmente do cientista] busca ir além das fronteiras do conhecimento estabelecido, explorando novas teorias, conceitos e fenômenos que desafiam as ideias preexistentes.

A motivação mostrada pelos alunos para estudar tópicos relacionados à FMC reflete a busca por um conhecimento que “foge” do clássico – “[...] *menos interessante é a física clássica*” (Aluno 9, Questionário Informativo); e seja mais alinhado com as descobertas e avanços científicos recentes. Essa atitude de exploração e curiosidade parece estar intrinsecamente ligada à noção de novo espírito científico bachelardiano, que incentiva a busca por novas perspectivas e o rompimento com visões antigas., e à postura de questionamento, abertura para mudanças e busca por um conhecimento mais atualizado e significativo (MOREIRA, 2005).

No Quadro 10 apresentamos algumas declarações (Questionário Final) que retratam de forma contundente o interesse dos alunos pelos temas da FMC.

Quadro 10: Falas que exemplificam a Categoria 7, e as reduções significativas formuladas

Declaração Significativa	Significado Formulado	Redução Significativa Formulada
<p>Aluno 26 [Questionário Final]: <i>“Sim, pois abordou diversos conteúdos que, além de ajudarem na compreensão de assuntos em física nunca estudados, despertou minha curiosidade em relação ao tema por seu caráter transformador. A física está constantemente em evolução”</i></p> <p>Aluno 23 [Questionário Final]: <i>“sim, sinceramente é a minha parte favorita de todas, o universo é fascinante e quando percebemos que não sabemos a porcentagem que conhecemos sobre o universo, desperta ainda mais a curiosidade e a vontade de aprender mais sobre”</i></p> <p>Aluno 38 [Questionário Final] <i>[sobre a importância da UD] ...com toda a certeza, o mundo em que vivemos é cheio de surpresas e mudanças, esse módulo ajudou muito na concepção de como as coisas são de fato, e como e quais são os mistérios da ciência. [mais adiante] .creio que o universo sempre contará com seus “segredos”, então acho que conheceremos boa parte, mas não por completo e que a ciência sempre estará evoluindo.</i></p>	<p>Surge um interesse em ampliar o conhecimento de Física para além do conteúdo programático da escola.</p> <p>O interesse é claramente direcionado para temas de Física Moderna e Contemporânea.</p> <p>Os mistérios do Universo (buracos negros, buracos de minhocas, Astrofísica etc) apareceram de forma importante.</p>	<p>Interesse em áreas específicas do conteúdo de Física Moderna e Contemporânea;</p> <p>Curiosidade sobre assuntos que não estão listados no conteúdo programático do Ensino Médio;</p> <p>Curiosidade sobre conceitos atuais - Física Quântica; conteúdos da Astrofísica e Cosmologia - geram interesse;</p> <p>Ideias de evolução da ciência;</p> <p>A percepção de que nada é imutável, que tudo pode ser aperfeiçoado;</p> <p>Não há respostas absolutas na busca do conhecimento;</p> <p>A ciência é inconclusa, sempre haverá enigmas que despertam curiosidade.</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Nesse contexto, o projeto internacional *ROSE (The Relevance of Science Education)* de Schreiner e Sjøberg (2004) foi uma iniciativa de pesquisa colaborativa que abrangeu diversos países, e teve o objetivo de coletar e analisar as dimensões afetivas dos alunos em relação à Ciência e à Tecnologia. O foco principal era investigar os fatores que influenciavam as atitudes dos alunos em relação à ciência e sua motivação para aprender. Por meio de questionários e entrevistas, o projeto

explorou várias facetas da relevância da educação em ciências. Os estudantes foram convidados a compartilhar suas experiências, interesses e perspectivas sobre a ciência, abrangendo desde vivências extracurriculares relacionadas à ciência até suas opiniões sobre o papel da ciência na sociedade.

O estudo realizado por Gouw e Bizzo (2016) concentrou-se nas contribuições do projeto ROSE no contexto dos estudantes brasileiros. Através dessa pesquisa, buscaram "conhecer a percepção dos estudantes sobre suas aulas de Ciências e o interesse em seguir a carreira científica" (GOUW; BIZZO, 2016). Os resultados obtidos na pesquisa demonstraram que, diferentemente do que é observado na maioria dos países desenvolvidos, os jovens brasileiros demonstram interesse pela ciência escolar, embora não apresentassem preferência pela ciência em relação a outras disciplinas. Foi observada uma atitude geral positiva em relação à disciplina [Ciências], tanto em termos de sua importância quanto de sua utilidade. No que diz respeito ao interesse dos jovens brasileiros em seguir uma carreira científica ou buscar empregos relacionados à tecnologias avançadas, verificaram que tanto meninas quanto meninos apresentam pouco interesse em seguir carreiras científicas. A este fato foram referidas 13 possíveis razões. Por exemplo: "1) *currículo de ciências teórico, abstrato, autoritário e sem relevância para os estudantes; (...)* e 13) *a comunicação entre ciência e público em geral falha*" (SJØBERG *apud* GOUW; BIZZO, 2016).

Uma pesquisa realizada por Stuckey *et al.* (2013) abordou o projeto ROSE no contexto da relevância das Ciências sob a perspectiva dos alunos que participaram do estudo. Os dados coletados evidenciaram apenas o que era considerado relevante pelos alunos, sem considerar necessariamente o que seria de fato "relevante" nos temas abordados, levando em consideração o contexto social e político, e o objetivo final das instituições educacionais. Os pesquisadores analisaram a evolução do ensino de Ciências ao longo de quatro períodos distintos.

O primeiro período ocorreu nas décadas de 1950 e 1960, durante a "*Era Sputnik*". época em que o currículo enfatizava o aprimoramento do desempenho dos alunos em temas científicos, com o objetivo de formar futuros cientistas, médicos e engenheiros. Essa abordagem era impulsionada pela competição científica e tecnológica entre nações durante a Guerra Fria. O segundo período, que abrangeu os anos 1960 e 1970, foi marcado pela busca por uma educação científica mais inclusiva, conhecida como "Alfabetização Científica para Todos". Nessa fase, a relevância de

aprender ciências foi estendida à maioria dos estudantes, com o objetivo de promover uma compreensão pessoal e social da Ciência. O terceiro período, na década de 1980, foi caracterizado como um momento de crise na educação científica, com uma diminuição significativa do interesse dos alunos pelas disciplinas científicas. Esse período levou a uma reflexão sobre a forma como a Ciência era ensinada e motivou a busca por abordagens mais eficazes como, por exemplo, a introdução do construtivismo piagetiano e de metodologias ativas. Por fim, o quarto período, que começou nos anos 1990 e continua até os dias atuais, é marcado por duas abordagens principais: a primeira é a implementação de uma educação científica baseada no contexto, buscando tornar a aprendizagem mais significativa para os alunos; a segunda, é orientada pela dimensão social da educação científica, visando o desenvolvimento de habilidades relacionadas, por exemplo, à Educação para o Desenvolvimento Sustentável (STUCKEY *et al.*, 2013).

O panorama até aqui exposto é importante para entendermos como o ensino de física evoluiu, atravessando diferentes perspectivas, com distintos objetivos e como chegamos ao século XXI, carregando lacunas, fragmentações, pouco levando em conta as necessidades dos jovens, e ensinando uma Física desatualizada, ainda que pesquisas na área sejam recorrentes no sentido de atualizar o currículo escolar (e.g., TERRAZZAN, 1992; 1994; MOREIRA; OSTERMANN, 2000; ROSA, 2019; HOERNIG; MASSONI; HADJIMICHEF, 2021).

No Brasil, este sintoma foi reforçado pela massificação (possivelmente improvisada) do Ensino Médio, que foi tornado a etapa final da Educação Básica a partir da década de 1990, através da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB (BRASIL, 1996); marco a partir do qual tomou centralidade o eixo ciência, cultura, trabalho e tecnologia, enquanto dimensões da vida em sociedade e da formação humana.

Moreira (2021) faz uma análise sobre a cultura atual do ensino de Ciências e sua relação com a testagem e revela um cenário preocupante, apontando que um ensino voltado principalmente para avaliações e provas pode levar os alunos a uma aprendizagem mecânica e superficial, focada apenas em decorar informações para obter resultados satisfatórios nos exames. Adverte que essa mentalidade treinadora pode restringir a capacidade dos estudantes de desenvolverem habilidades críticas,

criativas e analíticas, tão necessárias para enfrentar os desafios da vida e contribuir positivamente para a sociedade.

Em nossa pesquisa aparece uma ênfase para a preparação para o mercado de trabalho, o que pode reduzir a educação científica a uma mera ferramenta para a empregabilidade, ignorando a importância da formação integral dos indivíduos como cidadãos conscientes e participativos. Isto pode resultar em uma visão utilitarista do conhecimento (e.g., Categoria 4 - *Utilitarismo*), em que o aprendizado de Física é percebido como um meio para atingir fins práticos e imediatos, negligenciando seu valor na dimensão da vida em sociedade e da formação humana.

Ao longo da análise dos questionários inicial e final pudemos identificar uma notável inclinação (de certa forma, uma demanda) por parte dos estudantes a uma integração de aulas de laboratório (práticas) às aulas teóricas. Entretanto, entendemos que essa aspiração não está necessariamente associada ao espaço físico do laboratório, mas sim à diferenciação das aulas, à mesclagem de teoria e prática (podendo ser demonstrações, por exemplo). Isto parece revelar uma compreensão de que as aulas de física ficam enriquecidas com experimentos, possivelmente reforçada pelo momento atual, de retomada da presencialidade, após um período pandêmico que afastou os estudantes das atividades práticas e socializantes. À luz de nosso referencial epistemológico, conforme Bachelard delineia, como mencionado ao longo do estudo, a mera curiosidade pode existir sem a presença de um autêntico espírito científico. Neste contexto, surge uma ambiguidade interpretativa que nos instiga a considerar uma investigação mais aprofundada, uma vez que os alunos manifestaram esse interesse tanto antes da aplicação da Unidade Didática quanto após sua execução.

Outro aspecto que interpretamos como positivo na emergência desta categoria é que todos os alunos no Questionário Final, quando perguntados sobre a contribuição da UD, responderam positivamente e manifestaram interesse e curiosidade por tópicos de Física Moderna e Contemporânea, além de conseguirem apontar que assuntos atuais de FMC não estão presentes no conteúdo programático do Ensino Médio.

Além disso, a UD serviu para mostrar, e possivelmente compreender, que a Física é um campo em construção, que na fronteira trata de temas ainda em aberto, inconclusos e em evolução, por exemplo, a matéria escura não foi detectada ainda e

não há uma teoria consensual sobre a natureza e as propriedades da matéria escura e energia escura no Universo. Alguns alunos manifestaram ter percebido que “nada é imutável”; “tudo pode ser aperfeiçoado”, “não há respostas absolutas na busca do conhecimento”, “sempre há enigmas” e o “mundo é cheio de surpresas” que despertam a curiosidade.

Este é um aspecto epistemológico importante que, mesmo com uma UD tão curta, parece ter marcado a maioria da turma.

6.3 Alguns comentários finais acerca da análise

Como já comentado, reconhecemos que nossa UD, tendo apenas quatro encontros, foi aligeirada. Mesmo assim, os alunos demonstraram durante a toda a intervenção pré-disposição em aprender novos conceitos; expressaram especial interesse, isto foi explorado nas Categorias 5 e 7, em aprender sobre temas da Física Contemporânea (e. g., "*Astrofísica acho um tema interessante, gosto de aprender coisas novas sobre buracos negros, estrela etc.*" (Aluno 10, Questionário Inicial); "*...normalmente quando pensamos em Física, pensamos em cálculos, agora tivemos um conhecimento mais amplo*" (Aluno 8, Questionário Final); "*Sim, com essas aulas pude ter a dimensão do nosso universo, e como ele é formado, e que não existe verdade absoluta, e não devemos nos prender em nós mesmos, afinal, somos um conjunto minúsculo de partículas.*" (Aluno 3, Questionário Final); "*Sim, pois abordou diversos conteúdos que, além de ajudarem na compreensão de assuntos em Física nunca estudados, despertou minha curiosidade em relação ao tema por seu caráter transformador. A física está constantemente em evolução.*" (Aluno 38, Questionário Final).

Foi relevante perceber que os estudantes identificaram o contexto de conteúdos clássicos, geralmente presentes em livros de texto e no currículo do Ensino Médio.

Cabe aqui ressaltar que observamos mediante a entrega do Texto de Apoio preparado especialmente para esta UD, mesmo que no formato digital, que os alunos não demandaram tempo para a leitura durante a aplicação da UD, e revelam que este

não despertou interesse. Poderíamos levantar algumas hipóteses: primeira, o tema da UD não seria objeto de avaliações (testes ou provas), e pode estar prevalecendo na cultura escolar a ênfase na testagem (MOREIRA, 2021), de forma que “ter boas notas” pode se sobressair à formação do pensamento científico (BACHELARD, 1991, 1996); segunda, os estudantes não estão habituados à leitura, mesmo tendo à sua disposição livros didáticos distribuídos gratuitamente, em nosso país, pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), existem pesquisas recentes que mostram (e.g., MASSONI, 2022) que o livro didático é, em muitas escolas, subutilizado ou, pelo menos, pouco incentivado para leitura dos estudantes. Possivelmente isto se aplique ao Texto de Apoio.

Outro aspecto já discutido na literatura, como abordado na Categoria 1, é que inúmeros alunos que demonstram dificuldade com a Física têm, na verdade, dificuldades com os cálculos. Observamos que mesmo com essas lacunas, nossos alunos expressaram um desejo e uma atitude positiva para aprender novos conteúdos (e.g., “*dificuldade em cálculos*” [referente à disciplina de Física]. “... *além de obter novos conhecimentos, ajudou a abrir novas visões e percepção diante a matéria escura e o Universo* [referente à UD]”; Aluno 1, Questionário Inicial; Questionário Final).

Acerca da Categoria 6 - Física de Laboratório, seria interessante investigar as expectativas dos alunos em relação às aulas de laboratório e compreender a origem desse desejo. Especialmente nessa turma, em que as aulas de laboratório não foram possíveis devido à pandemia de COVID-19 e ao ensino remoto, seria fundamental explorar as razões por trás desse anseio e o que os alunos esperam obter com essas aulas. Isso garantiria que as aulas de laboratório não se tornem apenas uma satisfação momentânea sem uma compreensão significativa (BACHELARD, 1996).

Para que, de fato, se possa falar de racionalização da experiência, não basta que se encontre uma razão para um fato. A razão é uma atividade psicológica essencialmente politrópica: procura revirar os problemas, variá-los, ligar uns aos outros, fazê-los proliferar. Para ser racionalizada, a experiência precisa ser inserida num jogo de razões múltiplas. (BACHELARD, 1996, pg. 51)

Concluindo esta discussão, ficou evidente para nós que a adoção de uma abordagem didática fundamentada na Física Moderna e Contemporânea, e a literatura reforça isto (e.g., ROSA, 2019; HOERNIG; MASSONI; HADJIMICHEF, 2021), aliada a uma estruturação de aulas baseada no enfoque da Aprendizagem Significativa

Crítica (MOREIRA, 2010), é relevante não apenas para despertar o interesse dos estudantes (um exemplo é o Aluno 13 que havia respondido no Questionário Inicial [sobre gostar da disciplina de Física] “*Não gosto de nada em física*”; no entanto no Questionário Final ao ser questionado sobre a compreensão do conhecimento científico, respondeu que “*Sim, me fez querer aprender mais sobre astronomia*”), mas também facilita a aprendizagem ao promover a interação com conhecimentos prévios, como aqueles obtidos por meio da divulgação científica. Essa abordagem se mostra essencial para fomentar um verdadeiro espírito científico (BACHELARD, 1991,1996) entre os alunos, os incentivando a se engajarem ativamente no processo de construção do seu próprio conhecimento científico.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das análises e reflexões apresentadas ao longo deste texto, foi possível constatar que a abordagem da Física Moderna e Contemporânea, com ênfase na temática da Matéria Escura e Energia Escura, revelou-se uma perspectiva promissora para o ensino de Física no Ensino Médio, principalmente no âmbito de aproximar a física escolar da pesquisa atual. Esta perspectiva engaja os estudantes ao estudo da Física, conforme ficou evidenciado em suas declarações.

Retomamos aqui as questões norteadoras dessa pesquisa, com vistas à respondê-las: *1) Como abordar um tema de FMC, em particular, um tema em evolução como Matéria e Energia Escura, de maneira a motivar os estudantes ao estudo da Física? Que características deve ter uma unidade didática capaz de apresentar esse tema da FMC, construir uma visão adequada de ciência, e desenvolver habilidades de dialogar e interpretar criticamente o conhecimento? 2) O que se pode entender de Matéria e Energia Escura e por que são necessárias para a compreensão do futuro do Universo? Como a ciência está avançando e se desenvolvendo sobre o enigma Matéria e Energia Escura?*

Parte da resposta vem do aprofundamento na/da revisão de literatura e dos referenciais teórico-epistemológicos, que mostram a FMC, com seus temas instigantes e atuais, vem ganhando um interesse crescente entre pesquisadores (MOREIRA; OSTERMANN, 2000; BACHELARD, 1996; PEDUZZI, 2008; ALVES-BRITO; MASSONI, 2019; ROSA, 2019; HOERNIG; MASSONI; HADJIMICHEF, 2021), por ser atraente e engajar os estudantes, proporcionando uma visão mais profunda e abrangente do estudos científicos atuais.

Devido à importância de alinhar nossos objetivos iniciais com a prática efetiva representada pela implementação da Unidade Didática, reexaminamos a questão central da pesquisa, reconhecendo que não foi possível responder de forma aprofundada à primeira questão. Inicialmente, tínhamos planejado empregar pelo menos dez (10) horas/aula para a execução da unidade didática, o que nos possibilitaria uma exploração mais aprofundada e abrangente do tema proposto, Matéria Escura e Energia Escura, em consonância com aspectos da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, mapeando conceitos prévios, apresentando

relações matemáticas e explorando aspectos epistemológicos específicos da natureza da ciência, dado que esta temática está em processo de construção no campo da Física e Astrofísica, conforme previamente detalhado. Entretanto, diante das restrições temporais impostas pela escola, que nos concedeu tão somente quatro horas/aula, nos deparamos com limitações importantes em nossa abordagem. Nesse contexto, as aulas assumiram uma dinâmica predominantemente expositiva, conceitual e dialogada, apresentando conceitos e candidatos à matéria escura, bem como explanando evidências da existência de energia escura no universo. Focamos na construção do pensamento crítico dos estudantes, alargando suas concepções sobre o universo, visando contribuir para incrementar o interesse genuíno pela disciplina de Física.

Nesse contexto, o estudo da Matéria Escura e Energia Escura foi proposto em nossa investigação, como uma área em constante evolução, marcada por avanços e retrocessos, permitindo que explicássemos além das fronteiras existentes do conhecimento, o desenvolvimento de habilidades críticas para avaliar os conteúdos apresentados como sendo científicos. No mundo digital atual, onde a disseminação de informações é rápida e acessível, é importante que os estudantes sejam capazes de discernir entre conteúdos confiáveis e não confiáveis, especialmente na área da divulgação científica (CARNEIRO; LONGHINI, 2015; ALVES-BRITO; MASSONI; GUIMARÃES, 2020), considerando que esta [divulgação científica] pode alcançar um público cada vez maior, contribuindo positivamente, ou não, para o avanço da compreensão do papel da ciência na sociedade. Defendemos que esta questão dependerá, em boa medida, da preparação dos estudantes durante o período escolar, preocupada com construção do senso crítico.

Para que pudéssemos desenvolver a UD, determinamos como objetivo principal desta pesquisa proporcionar aos alunos uma abordagem ampla e significativa sobre o tópico Matéria Escura e Energia Escura, estabelecendo uma conexão entre o processo histórico de construção do conhecimento científico e as pesquisas em andamento e os desafios atuais da ciência. Com tal abordagem, aprofundamos a revisão da literatura sobre a temática, buscando mostrar a importância da pesquisa científica, os diferentes candidatos à Matéria Escura, e como a pesquisa continua moldando nosso entendimento do Universo. Além disso,

almejamos engajar os jovens a seguirem carreiras relacionadas à ciência e, dessa forma, poderem contribuir para os avanços do conhecimento em suas áreas de interesse. Ao aproximar os alunos de um campo de pesquisa em constante evolução, reconhecendo a ciência como um empreendimento humano, buscamos também transformar suas concepções sobre a natureza da ciência.

Com esses propósitos, delineamos alguns objetivos específicos. Primeiramente, realizamos uma vasta revisão da literatura, buscando estudos relevantes sobre a importância de abordar a FMC na educação científica, demos ênfase na contextualização histórica dos paradigmas da Matéria e Energia Escura. Além disso, exploramos trabalhos que abordassem a Cosmologia em diferentes perspectivas, e investigamos aspectos epistemológicos que envolvessem o desenvolvimento do conhecimento científico nesse campo. Durante essa etapa de pesquisa, obtivemos diversos resultados que nos orientaram nas etapas seguintes. Contudo, foi um desafio encontrar trabalhos na literatura que abordassem a aplicação prática em sala de aula do tema Matéria Escura, Energia Escura e Evolução do Universo. Acreditamos que isso se deva ao fato de ser um campo recente e em constante mudança, com idas e vindas.

Nesta linha, objetivamos desenvolver uma Unidade Didática que explorasse os limites dos modelos clássicos, apresentando a ciência como um empreendimento dinâmico, sempre alinhados com a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (MOREIRA, 2010; 2018; 2020) e enfatizando as rupturas necessárias à construção do espírito científico, conforme a visão epistemológica (BACHELARD, 1978; 1996; 2006). Após feita a revisão da literatura, constatamos a falta do tema em livros didáticos do EM, o que nos levou a considerar importante construir um Texto de Apoio para servir de material de consulta nas aulas e para a indicação de leitura aos estudantes durante a aplicação da UD. Assim, em colaboração com um aluno de Iniciação Científica e minha orientadora, desenvolvemos o Texto de Apoio intitulado "Matéria Escura e Energia Escura: uma revisão da literatura sobre um dos maiores enigmas da Física e Cosmologia contemporâneas", que foi disponibilizado digitalmente aos estudantes (atualmente publicado (RAMIRES, MASSONI, MORIGGI, 2022) para ser utilizado como recurso pelos professores que, eventualmente, busquem uma abordagem alternativa no ensino tradicional).

Construímos planos de aula, selecionamos imagens, vídeos etc. e aplicamos a UD a uma turma de EM de uma escola da rede pública, coletando dados por meio de interações com os alunos e das respostas de dois questionários (Inicial e Final). O objetivo foi o de identificar possíveis avanços na compreensão conceitual dos estudantes, mudanças na visão de ciência e avaliar o nível de interesse dos alunos para temas de FMC. O material coletado foi analisado para avaliar a efetividade da abordagem proposta e tentar compreender como a UD contribuiu para o aprendizado dos alunos e se houve avanços na forma como percebem a ciência.

É importante reconhecer que a aplicação da UD ocorreu em um intervalo de tempo reduzido, de apenas quatro horas-aula. Apesar desse desafio, as declarações obtidas dos estudantes por meio do Questionário Final revelaram uma resposta bastante positiva em relação à UD, especialmente por engajar e despertar grande interesse em continuar explorando o tema da Matéria Escura e Energia Escura. A partir da análise dos dados, evidenciamos, nas percepções iniciais, que a maioria dos estudantes investigados não demonstrava interesse, dizia não gostar da disciplina de Física, principalmente pela dificuldade nos cálculos matemáticos, ou mesmo por preferir disciplinas das ciências humanas. Entretanto, ao final da UD, vários desses alunos relataram ter apreciado as aulas e desenvolvido um interesse mais profundo pela ciência física. Nosso resultado corrobora outros estudos já mencionados, como o projeto *ROSE* (SCHREINER, SJØBERG, 2004), que busca avaliar o interesse de estudantes, em diversos países, sobre os conceitos científicos, ficando evidente que tópicos da FMC despertam disposição pelo ensino-aprendizagem de Física (MOREIRA, 2021).

As categorias construídas e discutidas no capítulo precedente tendem a mostrar que nossos resultados corroboram desafios e dificuldades já mapeadas na literatura (e.g., dificuldades com cálculos, preferências por aulas de laboratório, percepção utilitarista da ciência). De outro lado, acreditamos que as contribuições e resultados apresentados nesta dissertação podem fornecer subsídios para novas pesquisas, visando aprimorar o Ensino de Física a partir da FMC, o tornando mais significativo e contextualizado, capaz de despertar a curiosidade dos alunos em relação aos avanços científicos e às questões atuais da ciência. A construção do Texto de Apoio (RAMIRES, MASSONI, MORIGGI, 2022) e a aplicação da UD representou um esforço para aproximar o estudo da Matéria Escura e Energia Escura, inserido

esta temática em um contexto mais amplo de exploração dos avanços científicos e tecnológicos, possibilitando uma maior conexão entre o conhecimento acadêmico e a realidade escolar, entre a ciência e o cotidiano dos estudantes. O objetivo foi o de lhes proporcionar uma formação mais ampla e crítica.

Em relação às adversidades encontradas, destacamos duas limitações relevantes nesta pesquisa: o tempo restrito em sala de aula e a aplicação da intervenção em apenas uma turma de terceiro ano, sem que fosse possível ter um período de observação para nos familiarizarmos com a turma.

A adoção do Novo Ensino Médio e da Base Nacional Comum Curricular - BNCC pelas escolas estaduais do PR impactou a disponibilidade de tempo à pesquisa em campo.

A BNCC (BRASIL, 2018), como um currículo nacional, demanda discussão entre os professores, nas escolas, e formação continuada, dado que ela modifica a perspectiva tradicional de ensino, normatizando um ensino por áreas de conhecimento; ela reinsere a pedagogia das competências e habilidades no cenário nacional e balisa o Novo Ensino Médio por itinerários, além de ter sido pouco discutida com o professorado e homologada de forma apressada (FRANCO; MUNFORD, 2018), gerando uma situação que reduz drasticamente a carga horária das disciplinas da formação básica comum, por exemplo a disciplina Física. Em alguns Estados a Física fica reduzida a uma hora-aula semanal, o que é insuficiente para aprofundar conteúdos.

A escola que aceitou participar desta pesquisa pôde conceder apenas um período reduzido, o que nos levou a realizar grandes ajustes na UD para que ela se adequasse ao tempo disponível.

Além disso, houve a exigência da Secretaria Estadual de Educação do Paraná para a submissão do projeto, já aprovado pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, à Comissão de Ética, o que resultou em um atraso de alguns meses para que pudéssemos fazer a intervenção. Durante esse período, ocorreram mudanças no corpo docente e na gestão da escola, inclusive o professor regente que havia sido originalmente contactado foi desligado do colégio. Estas mudanças demandaram ainda mais flexibilidade e esforço para nos adaptarmos à nova realidade do ambiente escolar.

Para além das categorias construídas em nossa análise, um dos aspectos mais relevantes da experiência de aplicação da UD foi a questão do tempo, ou a falta de tempo.

Neste ponto aparece uma contradição: de um lado observamos um grande interesse dos estudantes por temas atuais de FMC; de outro lado, políticas públicas educacionais recentes reduzem, por exemplo a Base Nacional Comum Curricular - BNCC, (BRASIL, 2018) e a Lei do Novo Ensino Médio (BRASIL, 2017), muito a carga horário do componente curricular Física e, portanto, o tempo para que se possa discutir com o aprofundamento necessário esses temas no Ensino Médio.

Um sintoma claro foi que nossa UD, para desenvolver o tema Matéria Escura e Energia Escura, foi inicialmente planejada para envolver minimamente dez encontros, mas a escola foi constricta a nos oferecer tão somente quatro horas-aula. Como ficou demonstrado nos relatos de aula, e na análise, foram insuficientes para uma aprendizagem ampla, significativa e crítica (MOREIRA, 2010).

Este aspecto marca o Ensino de Física em nosso país na contemporaneidade, pois representa uma das perdas mais significativas dos anos recentes, que se contrapõe às conquistas históricas das décadas que se seguiram à homologação da Lei de Diretrizes e Bases - LDB (BRASIL, 1996).

Outra limitação esteve relacionada ao escopo do estudo, onde a intervenção foi realizada em apenas uma turma do terceiro ano do Ensino Médio. Embora os resultados obtidos nessa turma tenham sido positivos, é importante considerar que resultados diferenciados podem ocorrer em diferentes contextos educacionais e com diferentes grupos de alunos. Dessa forma, a aplicação da UD em mais turmas, e em diferentes níveis de ensino, poderia fornecer uma compreensão mais ampla e abrangente dos efeitos desse enfoque, tanto para promover compreensão conceitual e engajamento ao estudo da Física, como para perceber transformações nas visões de ciência dos estudantes. Seria importante também para identificar possíveis melhorias ou adaptações para futuras aplicações.

Apesar desses desafios e limitações, o presente estudo forneceu compreensões proveitosas e indicativos de eficácia da UD no ensino de Física, especificamente na perspectiva dos conceitos e modelos da Astrofísica, Astronomia e Cosmologia.

Como sugestão para futuras pesquisas, é relevante explorar a possibilidade de adequar o tema da Matéria Escura e Energia Escura, articulando a outros tópicos para auxiliar e explicar o conteúdo programático obrigatório do Ensino Médio. Considerando as discussões já feitas sobre o tempo limitado em sala de aula, a proposta seria utilizar uma abordagem baseada na Astrofísica e Cosmologia, Evolução do Universos, Matéria Escura, Energia Escura para introduzir e desenvolver os conceitos físicos estudados durante todo o período escolar.

Entendemos que seria possível articular temas atuais ao ao estudo de conceitos clássicos da física, como mecânica, termodinâmica e eletromagnetismo. Por exemplo, ao estudar a expansão do universo é possível discutir a Teoria da Relatividade de Einstein, e a existência da energia escura (ou outra forma de gravidade) como fatores que influenciam o comportamento do Universo em grande escala. Da mesma forma, ao abordar a estrutura da matéria e a formação dos elementos químicos no Universo, podem ser explorados conceitos de Mecânica Quântica, o Modelo Padrão das partículas elementares e sua relação (ou não) com a Matéria Escura.

Ademais, é crucial reconhecer que a matemática é uma parte intrínseca da disciplina de física. No entanto, dadas as restrições temporais para a implementação do módulo, e levando em conta as dificuldades enfrentadas pelos alunos na execução de cálculos, optou-se por uma abordagem teórica na explanação do tema proposto no estudo. Essa adaptação foi uma estratégia para garantir que os conceitos essenciais fossem compreendidos de maneira significativa, proporcionando uma base à posterior exploração dos aspectos matemáticos relacionados. Dessa forma, em um próximo estudo, a introdução da perspectiva matemática se daria por meio dos conceitos teóricos já assimilados, visando instigar nos alunos a compreensão de que esses conceitos estão intrinsecamente associados a valores numéricos, traçando, assim, um paralelo entre os conceitos teóricos e sua representação numérica. Portanto, a matemática seria apresentada não como o ponto de partida no ensino de física, mas como uma forma peculiar de linguagem que auxilia na descrição e compreensão dos fenômenos físicos.

De qualquer modo, esta investigação teve o propósito de ser uma via, não a única, para incentivar professores e escolas a encontrar novas possibilidades de abordagem da FMC, promovendo uma educação científica mais ampla e reflexiva, em

consonância com os avanços da ciência e as necessidades da sociedade contemporânea.

Fazemos desta pesquisa uma alusão ao plantio de sementes, preparando a terra, manejando e irrigando o solo, para, então, futuramente, fazer a colheita. Percebemos a importância de cada etapa no processo de ensino-aprendizagem. Preparar a terra representa o cuidado e a dedicação ao desenvolvimento de uma proposta pedagógica bem fundamentada, orientada por referenciais teóricos claros e objetivando integrar temas da FMC. Semear, por sua vez, envolve o papel dos professores, de lançar o conhecimento de forma inspiradora, plantando e promovendo o interesse e a curiosidade nos alunos. Ao manejar e irrigar a plantação, os educadores conduzem a jornada de aprendizado, nutrindo o engajamento dos estudantes e promovendo o diálogo crítico com o conhecimento científico. E, por fim, chega o momento de colher os frutos do esforço conjunto, quando os alunos demonstram interesse, compreensão conceitual e uma visão mais ampla e significativa da ciência.

Esta analogia ao plantio parece frutífera, e nos mostra que, ao adotar uma abordagem dinâmica e alinhada com as necessidades dos alunos, é possível colher resultados positivos, os preparando para o contínuo crescimento intelectual e despertando o interesse pela ciência que ecoará ao longo de suas vidas.

Larrosa (2018) em um livro intitulado “Esperando não se sabe o quê: sobre o ofício de professor” utiliza uma analogia de Marguerite Duras (no romance *Barragem contra o Pacífico*) para fazer alusão ao ofício do professor. No romance, uma mãe luta contra vários desafios e consegue a concessão de um lote de terra improdutivo, convence os camponeses locais a ajudarem a construir diques contra o Pacífico, para secar a terra periodicamente inundada pelo mar; após fazerem os diques, plantam arroz e quando a planície fica verde, o mar sobe e destrói os diques e a plantação; os diques tinham sido roídos por caranguejos que estavam na terra usada na construção dos diques. Porém, a grande esperança da mãe, de salvar os filhos da miséria, não foi abalada (mesmo após o fracasso dos diques, não passava um dia sem que plantasse algo... meses depois foi pega plantando um “guau”; “gkaus” demoram cem anos para se tornar árvores...). Larrosa (2018, pp.13-14) afirma que a história diz um pouco do ofício do professor, o espírito que o governa, uma espécie de esperança de não se sabe o que, uma vontade infatigável de recomeçar, de novo e

de novo. Nessa lógica, os professores, contra o vento e a maré, continuam fazendo bem o seu trabalho, não estão em busca de resultados, provocam efeitos...continuam construindo diques para que o solo onde crescem seus alunos, crianças e jovens, não seja tóxico.

Sustentamos, enfim, uma crença inabalável de que investir na preparação dos professores, no desenvolvimento de materiais de apoio adequados e na aplicação de abordagens envolventes é o caminho para colhermos frutos cada vez mais promissores no campo e na melhoria do Ensino de Física.

REFERÊNCIAS

ALVES-BRITO, A.; MASSONI, N. T. **Astrofísica para a Educação Básica: a origem dos elementos químicos no Universo**. 1ª Ed. Curitiba: Appris, 2019.

ALVES-BRITO, A.; MASSONI, N. T.; GUIMARÃES, R. R. Subjetividades da comunicação científica: a educação e a divulgação científicas no Brasil têm sido estremecidas em tempos de pós-verdade? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 37, n. 3, p. 1598-1627, 2020. Acesso em: 20 jun. 2023.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S.. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172003000200007>. Disponível em: [\(PDF\) Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades](#). Acesso em 20 jun. 2023.

AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune and Stratton. 685 p., 1963. Acesso em 20 jun 2023.

AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 212p, 2000. Acesso em 20 jun. 2023.

BACHELARD, Gaston. **A Epistemologia**. Lisboa: Edições 70, 1971.

BACHELARD, G. **Epistemología**. Barcelona: Editorial Anagrama, 1973.

BACHELARD, G. **Os Pensadores**. São Paulo: Copyright Abril S.A. Cultural e Industria, 1978. Disponível em: [BACHELARD-Gaston.-Coleção-Os-Pensadores.pdf](#) Acesso em 20 jun. 2023.

BACHELARD, G. A Filosofia do não; O Novo Espírito Científico; A Poética do Espaço: Press Universitaires France, Paris. Tradução Presença Ltda. Lisboa (A filosofia do Não); Livraria Eldorado-Tijuca Ltda, Rio de janeiro (A poética do Espaço), Abril S.A Cultural e Industrial São Paulo (O Novo Espírito Científico), 1979. Acesso em: 20 jun. 2023.

BACHELARD, G. **A filosofia do Não**. 5ª ed. Lisboa: Editorial Presença, 1991.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. 5. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACHELARD, G. **A Epistemologia**. Lisboa: Edições 70, 2006.

BAROJAS, J. (Ed.) **Cooperative networks in physics education**. New York: American Institute of Physics, 1988. (AIP Conference Proceedings, 173). Acesso em 20 jun. 2023.

BASSALO, J. M. F. O Prêmio Nobel de Física de 2011. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 29, no 2, p. 336–342, 2012. DOI <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29n2p336>

BERNAL, N.; NECIB, L.; SLATYER, T. R. Spherical cows in dark matter indirect detection. **Journal Of Cosmology And Astroparticle Physics**, [S.L.], n. 12, p. 030-030, 2016. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1475-7516/2016/12/030>. Acesso em 20 jun. 2023.

BERTONE, G.; HOOPER, D.; SILK, J.. Particle dark matter: evidence, candidates and constraints. **Physics Reports**, Oxônia, v. 405, n. 5-6, p. 279-390, jan. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physrep.2004.08.031> Acesso em 20 jun. 2023.

BERTONE, G.; HOOPER, D. **A History of Dark Matter**. 2016. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1605.04909>. Acesso em 20 jun. 2023.

BIANCHI, E.; ROVELLI, C.; KOLB, R. **Is dark energy really a mystery?**. *Nature* 466, 321–322 (2010). <https://doi.org/10.1038/466321a>. Acesso em 20 jun. 2023.

BOUGHN, S. **The Science Wars: a pox on both their houses, 2023**. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.11980>. Acesso em: 20 jun. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, v. 134, n. 248, 23 dez. 1996. Acesso em: 20 jun. 2023.

BRASIL. Lei nº 13.415 de 16 de fevereiro de 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2017/lei/l13415.htm. Acesso em jul de 2023.

BRASIL. Conselho Nacional da Educação/Conselho Pleno. Resolução n. 4, de 17 de dezembro de 2018. Institui a **Base Nacional Comum Curricular na Etapa do Ensino Médio** (BNCC). Disponível em: <[resolução nº 4, de 17 de dezembro de 2018](#)> . Acesso em: 20 jun. 2023.

BRUMFIEL, G. Cosmology gets real. **Nature** 422, 108–110 (2003). <https://doi.org/10.1038/422108a> . Acesso em: 20 jun. 2023.

CALDWELL, R., Kamionkowski, M. Dark matter and dark energy. **Nature** 458, 587–589 (2009). <https://doi.org/10.1038/458587a> . Acesso em: 20 jun. 2023.

CAMPOS, H. E. S.; NÓBILE, M. F. A Tecnologia aliada a Educação: um breve histórico. **Revista Práxis Educacional**, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, vol. 15, n.34, p. 433-449, Edição Especial, 2019. Acesso em: 20 jun. 2023.

CARNEIRO, D. L. C. M.; LONGHINI, M. D. Divulgação científica: as representações sociais de pesquisadores brasileiros que atuam no campo da astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 20, p7-35, 2015. Disponível em: <https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/204/307>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CASTAÑÓN, G. A. Science Wars: Uma guerrilha contra a ciência moderna. **Interfaces Psicol.**, v. 2, n. 1, p. 70-76, 2009. Disponível em: <http://ufrrj.br/seminariopsi/2009/boletim2009-1/boletim.pdf#page=71>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CASTELVECCHI, D. Hints of twisted light offer clues to Dark energy's. **Nature**. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-03201-8>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CASTELVECCHI, D.. Mysterious galactic signal points LHC to dark matter. **Nature**, 521, 17–18 (2015). <https://doi.org/10.1038/521017a> Acesso em: 20 jun. 2023.

CAVALCANTI, V. Guerra das Ciências: análise das contribuições de Latour. **Revista de História Regional**, [S. l.], v. 7, n. 2, 2007. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/rhr/article/view/2161>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CELESTINO, C. C. *et al.* Modelagem matemática aplicada ao Ensino de Física a partir de um experimento de Mecânica Aplicada no Projeto Astroem III - UFABC. **Proceeding Series Of The Brazilian Society Of Computational And Applied Mathematics**, [S.L.], v. 6, n. 8, p. 1-7, 19 dez. 2018. SBMAC. <http://dx.doi.org/10.5540/03.2018.006.02.0294>. Acesso em 20 jun. 2023.

CHALMERS, A. F. *O que é ciência afinal?* São Paulo: Brasiliense, 225 p., 1999.

CHO, A. **Excess Particles from Space May Hint at Dark Matter**. 2008. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.322.5905.1173>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CHO, A. **Dark-Matter Mystery Nears its Moment of Truth**. 2013. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.340.6131.418>. Acesso em: 20 jun. 2023.

COLES, P. A revolution in science: the eclipse expeditions of 1919. **Contemporary Physics**, vol. 60(1), 45–59, 2019, <https://doi.org/10.1080/00107514.2019.1624000> Acesso em: 20 jun. 2023.

CONRAD, J.; REIMER, O.. Indirect dark matter searches in gamma and cosmic rays. **Nature Physics**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 224-231, Mar/2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nphys4049>. Acesso em 20 jun. 2023.

CRESWELL, J. W. **Investigação Qualitativa e Projetos de Pesquisa**. 3ª ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

DU, N. *et al.* **Search for Invisible Axion Dark Matter with the Axion Dark Matter Experiment**. *Physical Review Letters*, vol. 120, no 15, abr/2018, p. 151301. DOI <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.151301> Acesso em 20 jun. 2023.

FINKEL, D. **Dar clases con la boca cerrada**. Valencia: Publicacions de la Universitat de Valencia, 2008. Tradução para o espanhol do original Teaching with your mouth shut. 292p. Acesso em: 20 jun. 2023.

FRANCO, L. G.; MUNFORD, D. Reflexões sobre a Base Nacional Comum Curricular: Um olhar da área de Ciências da Natureza. *Horizontes*, v. 36, n. 1, p. 158-170, 2018.

FREITAS, L.; SANTUCCI, R.M.; MARQUES, I. A. Reinventando o método de Aristarco. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 43, e20210062, 2021. Acesso em: 20 jun. 2023.

FRÓES, A. L. D.. Astronomia, astrofísica e cosmologia para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 1-15, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172014000300016> . Acesso em 20 jun. 2023.

GANGUI, A. **No “explosion” in Big Bang cosmology: teaching kids the truth of what cosmologists really know**. 2011. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/proceedings-of-the-international-astronomical-union/article/no-explosion-in-big-bang-cosmology-teaching-kids-the-truth-of-what-cosmologists-really-know/AFA7F93AFB06E6055EC5DAD808794CC6>. Acesso em 20 jun. 2023.

GODOI, W. S. O problema das ideias de natureza simples para a geometria não-euclidiana e para a física não-newtoniana a partir da análise de Gastón Bachelard. **Griot: Revista de Filosofia**, vol. 11(1), p. 268–288, 2015. <https://doi.org/10.31977/grifi.v11i1.629> Acesso em 20 jun. 2023.

GOUW, A. M. S.; BIZZO, N. M. V.. A percepção dos jovens brasileiros sobre suas aulas de Ciências. **Educar em Revista**, [S.L.], n. 60, p. 277-292, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-4060.43612>. Acesso em 20 jun. 2023.

GUERRA, M. H. F. S. *et al.* Ensaio sobre os Obstáculos Epistemológicos presentes em estratégias metodológicas no Ensino de Química, uma revisão da bibliografia. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 8, n. 7, p. 15871113, 16 maio 2019. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i7.1113>. Acesso em 20 jun. 2023.

HAWKING, S. **O Universo numa casca de noz**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2009.

HECHT, J. Dark matter: what's the matter? **Nature**, [S.L.], v. 537, n. 7622, p. 194-197, Set/2016. Springer Science and Business Media LLC: <http://dx.doi.org/10.1038/537s194a>. Acesso em: 20 jun. 2023.

HIGA, I.; OLIVEIRA, O. B. A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física: fundamentos epistemológicos e pedagógicos. **Educar em Revista**, [S.L.], n. 44, p. 75-92, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-40602012000200006>. Acesso em: 20 jun. 2023.

HOERNIG, A. F. **Física Quântica e História e Filosofia da Ciência: conceitos, vida, crenças e religiosidade como motivadores na aprendizagem de Física**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2020. Acesso em 20 jun. 2023.

HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T.; HADJIMISHEF, D. Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica. **Revista Brasileira de Ensino Física**, vol. 43, e20210044, São Paulo, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2021-0044> Acesso em 20 jun. 2023.

HOFFMAN, M. B. **Cosmological constraints on a dark matter -- dark energy interaction**. Cornell University, Chicago, v. 2, n. 1, p. 1-29, jun. 2018. Acesso em: 20 jun. 2023.

GOTT, J. R. N-body simulations of galaxy clustering. III. The covariance function. **The American Astronomical Society**, [S. L.], v. 234, n. 13, p. 13-26, nov. 1979. Acesso em 20 jun. 2023.

KHALIL, S.; MUNOZ, C. **The Enigma of the Dark Matter**. 2001. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/hep-ph/0110122>. Acesso em: 20 jun. 2023.

KOEPPE, C. H. B.. **Formando Espíritos Científicos: epistemologia bachelardiana aplicada no Ensino de Ciências na Educação Básica de Florianópolis**. 2020. 170 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Bioquímica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Florianópolis, 2020. Acesso em: 20 jun. 2023.

LANDIM, R. C. G. **Cosmologia do setor escuro**. São Paulo: Mestrado (IF-USP), 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde02032017-212255/publico/main.pdf> Acesso em: 20 jun. 2023.

LARROSA, G. **Esperando não se sabe o quê: sobre o ofício de professor**. 1ª ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2018.

LEE, S. *et al.* **Axion Dark Matter Search Around 6.7 μ EV**. Physical Review Letters, vol. 124, no 10, mar/2020, p. 101802. DOI <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.101802>. Acesso em: 20 jun. 2023.

LIVIO, M. **Brilliant Blunders: from darwin to einstein** - colossal mistakes by great scientists that changed our understanding of life and the universe. (S.I.): Simon & Schuster, 2013. 352 p.

LIU, J.; CHEN, X.; JI, X.. Current status of direct dark matter detection experiments. **Nature Physics**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 212-216, mar/2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nphys4039>. Acesso em 20 jun. 2023.

LOPES, A.R.C. **Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química**. (Dissertação Mestrado). 1990. IESAE, FGV: Rio de Janeiro) Acesso em: 20 jun. 2023.

LOPES, A. R. C. Contribuições de Gaston Bachelard no ensino de ciências. **Enseñanza de las ciencias**, v. 11, n. 3, pp. 248 – 274, 1993. Acesso em: 20 jun. 2023.

MARQUES, Ivo de Almeida. Licenciatura em Física com Ênfases: uma opção no contexto da bncc. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [S.L.], v. 44, n. 0071, p. 1-13, 07 abr. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2022-0071>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zs7WQbrZHVMxxZZCVvSprcD/>. Acesso em: 20 out. 2023.

MARRA, V., QUARTIN, M; AMENDOLA, L. **Accurate weak lensing of standard candles**. I. Flexible cosmological fits. *Physical Review D*, 88, 063004, 2013. Acesso em: 20 jun. 2023.

MASSONI, N. T. **Epistemologias do Século XX**. Textos de Apoio ao Professor de Física. Porto Alegre: Instituto de Física, 2005. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tapf/v16n3_Massoni.pdf. Acesso em 20 jun. 2023.

MASSONI, N. T. Ensino de laboratório em uma disciplina de física básica voltada para cursos de engenharias: análises e perspectivas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 31, n. 2, p. 258-288, 2014.

MASSONI, N. T. Atividades de “Prática como Componente Curricular” em uma disciplina de primeiro semestre da Licenciatura em Física de uma universidade pública: análises e perspectivas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, p. 493-517, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2022.e85794>.

MCLIN, K. M. **Using the Big Ideas in Cosmology to Teach College Students**. 2013. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1303.1768>. Acesso em: 20 jun. 2023.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B.. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-73132009000300007>. Acesso em 20 jun. 2023.

MOREIRA, M. A. **Linguagem e aprendizagem significativa na sala de aula de ciências**. In: II Encontro Internacional de Linguagem, Cultura e Cognição, 2003, Belo Horizonte. Atas do II Encontro Internacional de Linguagem, Cultura e Cognição, 2003. v. 1. Acesso em 20 jun. 2023.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica**/Aprendizaje significativo crítico. Porto Alegre: Instituto de Física/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 47p . Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf> Acesso em 20 jun. 2023.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica**, 2010. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/apsigcritport.pdf>. Acesso em 20 jun. 2023.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. 2011. Porto Alegre: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Subsídios Epistemológicas para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências**. 2016. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios8.pdf>. Acesso em 20 jun. 2023.

MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de Física**. Estudos Avançados, [S.L.], v. 32, n. 94, p. 73-80, dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>. Acesso em 20 jun. 2023.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 43, n. 1, p. 1-8, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0451>. Acesso em 20 jun. 2023.

MOREIRA, M. A.. Desafios no ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física** (São Paulo), v. 43, p. e20200451, 2021.

MOUSTAKAS, C. **Phenomenological Research methods**. California: Sage Publications, 1994. 160 p.

NEIDE, I. G. *et al.* Percepções dos professores sobre o uso do software Modellus em uma experiência de modelagem Autores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vo. 36, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n2p567> Acesso em 20 jun. 2023.

NUNES, R. C.; QUEIRÓS. W. P. Doze mitos sobre a Teoria da Relatividade que precisamos superar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol.37, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p531>. Acesso em: 20 jun. 2023.

OLIVEIRA, v.; ARAUJO, I.S.; VEIT, E. A. Resolução de problemas abertos no ensino de Física: uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 39(3), 2017. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0269> Acesso em 28 de jul. 2023.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23–48, 2000. Acesso em: 20 jun. 2023.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. **Epistemologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/sead/servicos-ead/publicacoes-1/pdf/Epistemologia.pdf>. Acesso em 20 jun. 2023.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do Átomo Grego ao Átomo de Bohr**. Florianópolis: UFSC, Departamento de Física, 2008.

PEARCE, J. (2012). Robert H. Sanders, **The Dark Matter Problem: A Historical Perspective**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. Pp. viii 205. (hardback). *The British Journal for the History of Science*, 45(2), 306-307. doi: [10.1017/S0007087412000623](https://doi.org/10.1017/S0007087412000623) Acesso em: 20 jun. 2023.

PIETROCOLA, M. A Matemática como Estruturante do Conhecimento Físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Santa Catarina, v. 19, n. 1, p. 1-21, 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9297>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PIMBBLET, K. A. **Ex-nihilo II: Examination Syllabi and the Sequencing of Cosmology Education**. 2003. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/physics/0303076>. Acesso em 20 jun. 2023.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J.. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 1-28, jan. 1999. Acesso em: 20 jun. 2023.

POSTMAN, N.; WEINGARTNER, C. **Teaching as a subversive activity**. New York: Dell Publishing Co. 219p, 1969. Acesso em: 20 jun. 2023.

POSTMAN, N. **Technopoly: the surrender of culture to technology**. New York: Vintage Books/Random House. 222 p., 1993. Acesso em: 20 jun. 2023.

POSTMAN, N. **The end of education: redefining the value of school**. New York: Vintage Books/Random House. 208p., 1996. Acesso em: 20 jun. 2023.

PÖSSEL, M. Interpretations of cosmic expansion: anchoring conceptions and misconceptions. **Physics Education**, Heidelberg, v. 55, n. 6, p. 065006-10, 17 ago. 2020. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6552/aba3b1>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PRATES JÚNIOR, M. S. L.; SIMÕES NETO, J. E. Situações-problema como Estratégia Didática para o Ensino dos Modelos Atômicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, vol. 8, n. 2, 2015. Acesso em: 20 jun. 2023.

PROENÇA, M. C.; MAIA-AFONSO, É. J.; MENDES, L. O. R.; TRAVASSOS, W. B. Dificuldades de Alunos na Resolução de Problemas: análise a partir de propostas de ensino em dissertações. **Bolema: Boletim de Educação Matemática**, [S.L.], v. 36, n. 72, p. 262-285, abr. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1980-4415v36n72a12>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PUGLIESE, R. M.. O trabalho do professor de Física no ensino médio: um retrato da realidade, da vontade e da necessidade nos âmbitos socioeconômico e metodológico. **Ciência & Educação (Bauru)**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 963-978, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320170040006>. Acesso em: 20 jun. 2023.

RAMIRES, G. A. G.; MASSONI, N. T.; MORIGGI, A. V. Texto de Apoio ao Professor de Física, vol. 33, n. 1, 2022, intitulado **Matéria Escura e Energia Escura: uma revisão da literatura sobre um dos maiores enigmas da Física e Cosmologia contemporâneas**. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v33n1.pdf Acesso em 20 jul. 2

RANDALL, L. **What Is Dark Matter?** 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-05096-y>. Acesso em: 23 jul. 2020.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 251-266, 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172007000200010>. Acesso em: 20 jun. 2023.

ROSA, L. F. M. **Explorando a inserção de tópicos de Física Quântica em uma escola estadual: um estudo sob a luz da perspectiva sociocultural**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Acesso em: 20 jun. 2023.

RODRIGUES, H. W.; GRUBBA, L. S. Bachelard e os Obstáculos Epistemológicos à Pesquisa Científica do Direito. **Sequência: estudos jurídicos e políticos**, Florianópolis, v. 33, n. 64, p. 1-27, 26 jul. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2177-7055.2012v33n64p307>. Acesso em: 20 jun. 2023.

RUBIN, V. C.; FORD JR., W. K. **Rotation of the Andromeda nebula from a spectroscopic survey of emission regions**. *The Astrophysical Journal*, v. 159, p. 379-403, 1970. Disponível em: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1970ApJ...159..379R>. Acesso em 20 jun. 2023.

RUBIN, V. C.; FORD JR., W. K.; THONNARD, N. **Extended rotation curves of high luminosity spiral galaxies**. IV-Systematic dynamical properties, SA through SC. *The Astrophysical Journal*, v. 225, L, p. 107–111, 1978. Disponível em: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1978ApJ...225L.107R>. Acesso em 20 jun 2023.

RUBIN, V. C. **Dark Matter in Spiral Galaxies**. *Scientific American*, vol. 248, no. 6, 1983, pp. 96–109. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/24968923>. Acesso em: 20 jun. 2023.

RUBIN, V. C. **Seeing dark matter in the Andromeda galaxy**. *Physics Today*, v. 59, n. 12, p. 8-9, 2006. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~hoyos/courses/2016/FCM0102/Vera-Rubin-DarkMatter.pdf>. Acesso em 20 jun. 2023.

SANDERS, R. H. **The Dark Matter Problem: A Historical Perspective**. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. Acesso em: 20 jun. 2023.

SANTOS, J. C.; DICKMAN, A. G.. Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 1-12, 2 ago. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0161> Acesso em: 20 jun. 2023.

SELAU, F. F. *et al.* Fontes de autoeficácia e atividades experimentais de física: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 1-9, 8 out. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0188> Acesso em 20 jun. 2023.

SERRA, G. F. et al. Análise de um motor-foguete bi-propelente aplicada ao ensino de termodinâmica: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0174>. Acesso em 20 jun. 2023.

SCHREINER, C., Sjøberg, S. **Relevance of science education: Sowing the Seeds of ROSE**. Oslo: Acta Didactica, 2004. Acesso em: 20 jun. 2023.

SIQUEIRA, M. R. P.. **Do Visível ao Indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio**. 2006. 257 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Acesso em: 20 jun. 2023.

SILVA, G. P.. Estimando parâmetros cosmológicos a partir de dados observacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, dez/2017. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0247>. Acesso em 20 jun. 2023.

SOUSA, C. O.. **Teoria da aprendizagem significativa na prática docente**. Espacios, Fortaleza, v. 39, n. 23, p. 27-27, fev. 2018. Disponível em: <https://docplayer.com.br/86805544-Teoria-da-aprendizagem-significativa-na-pratica-docente.html>. Acesso em 20 jun. 2023.

SPERGEL, D. N. **The dark side of cosmology: Dark matter and dark energy**. 2015. Disponível em: <https://www.science.org/lookup/doi/10.1126/science.aaa0980>. Acesso em: 23 out. 2020.

STUCKEY, M. *et al.* The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. **Studies In Science Education**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 1-34, mar. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/03057267.2013.802463> Acesso em 20 jun. 2023.

SWART, J. G., BERTONE, G., Van DONGEN, J. How Dark Matter Came to Matter. **Nature Astronomy**, vol. 1, no 3, Mar/2017, p. 0059. DOI.org (Crossref): <https://doi.org/10.1038/s41550-017-0059> . Acesso em: 20 jun. 2023.

SWINBANK, M. Distant galaxies lack dark matter. **Nature** 543, 318–319 (2017). <https://doi.org/10.1038/543318a> Acesso em: 20 jun. 2023.

TAO, C. **Dark Matter searches: an overview**. Journal of Instrumentation, vol. 15, n. 06, jun/2020, p. C06054–C06054. DOI <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/06/C06054> Acesso em: 20 jun. 2023.

TERRAZZAN, E. A.. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Santa Catarina, v. 9, n. 3, p. 1-6, jan. 1992. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392>. Acesso em: 20 jun. 2023.

TERRAZZAN, E. A. **Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média**. 1994. 241f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. Acesso em 20 jun. 2023.

ZOLLMAN, D.. Oersted Lecture 2014: Physics education research and teaching modern Physics. **American Journal of Physics**, v. 84, n. 8, p. 573-580, 2016. Acesso em: 20 jun. 2023.

WALLACE, C. S.; PRATHER, E. E. Teaching physics with Hubble's law and dark matter. **American Journal Of Physics**, [S.L.], v. 80, n. 5, p. 382-390, maio 2012. American Association of Physics Teachers (AAPT). <http://dx.doi.org/10.1119/1.3684469>. Acesso em: 20 jun. 2023.

APÊNDICES

Apêndice A - Questionário Inicial

Questionário Informativo

Nome:

Idade:

- 1) Qual sua disciplina favorita e qual você menos gosta? Por quê?
- 2) Você gosta de Física? Comente sua resposta.
- 3) “Eu gostaria mais de Física se...” complete a sentença.
- 4) O que você acha mais interessante na Física? E menos interessante?
- 5) Que tipo de assunto você gostaria que fosse abordado nas aulas de Física? Deixe um comentário sobre como seria uma aula de Física interessante para você e para a turma como um todo.
- 6) Você vê alguma utilidade em aprender Física? Comente sua resposta.
- 7) Quais dificuldades você costuma ter ao estudar Física?
- 8) Você já estudou ou já ouviu/leu/aprendeu algo sobre o conteúdo de Matéria Escura e Energia Escura? Se sim, comente sua resposta.
- 9) Você tem alguma ideia de como as teorias da Física e o conhecimento são adquiridos? As leis da Física você entende que são imutáveis, quer dizer, uma vez estabelecidas não podem mudar ou o conhecimento já estabelecido pode sofrer alguma alteração?
- 10) Pretende fazer algum curso superior? Qual profissão você pretende seguir?
- 11) O que você gosta de fazer no tempo livre? Você segue algum canal de divulgação científica? Se sim, qual(is)? E quais conteúdos mais interessam em consumir da internet?

Apêndice B - Questionário Final

Questionário Final

Nome:

1) Qual foi sua percepção da construção do pensamento científico?

2) Você acredita que este pequeno módulo o ajudou na compreensão da disciplina de Física como um caminho ainda a ser construído e que pode nunca acabar?

Comente sua resposta.

3) “Eu gostaria mais de Física se...” complete a sentença.

4) O que você gostaria de aprender/debater em aulas de Física?

5) Você acredita que um dia conheceremos tudo que compõe o Universo? Todas as suas leis? Ou que a ciência estará sempre em evolução?

6) Há outros paradigmas, na Física e em outras áreas do conhecimento, que você saiba que existem? Se sim, qual(is)?

Apêndice C - Respostas dos estudantes que responderam [ambos] os Questionários A e B

Quadro 11: Transcrição das respostas dos alunos referentes aos questionários Inicial e Final.. ..

Aluno/ Aluna	Questionário Inicial (informativo) (respostas às questões 1 a 9, a exceção questão 8)	Questionário Final (respostas às questões 1 a 6)
1	<p>1. Biologia e sociologia. Não gosto de Química.</p> <p>2. Mais ou menos, porque não gosto de exatas.</p> <p>3. Tivesse menos cálculo.</p> <p>4. Interessante astrofísica, menos interessante eletrização.</p> <p>5. Física mais dinâmica.</p> <p>6. Sim, pois são vários conhecimentos para a vida.</p> <p>7. Dificuldade em cálculos.</p> <p>9. Não.</p>	<p>1. Ótima!</p> <p>2. Sim, pois além de obter novos conhecimentos, ajudou a abrir novas visões e percepção diante a matéria escura e o universo.</p> <p>3. Se as aulas fossem mais práticas.</p> <p>4. Sobre física quântica.</p> <p>5. Com a evolução da tecnologia acredito que talvez sim.</p> <p>6. Sim.</p>
2	<p>1. Artes. História.</p> <p>2. Sim, um pouco.</p> <p>3. Tivesse mais aulas práticas.</p> <p>4. Interessante os experimentos. Menos: tudo.</p> <p>5. Aulas em laboratório.</p> <p>6. Sim.</p> <p>7. Às vezes tudo.</p> <p>9. Sim.</p>	<p>1. Percebi que a muitas coisas no universo que ainda não conhecemos.</p> <p>2. Sim, temos muito o que aprender com o universo ainda.</p> <p>3. Tivesse mais aulas práticas.</p> <p>4. Gostaria de aprender novos experimentos.</p> <p>5. A ciência estará em evolução para sempre.</p> <p>6. Não.</p>
3	<p>1. Geografia. Filosofia.</p> <p>2. Sim, tem uns conteúdos difíceis, mas é legal.</p> <p>3. Menos cálculos.</p> <p>4. A explicação de vários fenômenos que ocorrem na nossa vida só a encheção de linguiça que é chata.</p> <p>5. Sobre algo aplicável na vida real, e que nos ajudasse no dia a dia.</p> <p>6. Sim, entender o que acontece à nossa volta.</p> <p>7. Decorar fórmulas.</p> <p>9. Entendo que o universo está em constante processo.</p>	<p>1. Foi um grande processo, demorado que ocorre até hoje, e nunca vai ter fim, mas a base que temos agora, são por causa de pensadores passados.</p> <p>2. Sim, com essas aulas pude ter a dimensão do nosso universo, e como ele é formado, e que não existe verdade absoluta, e não devemos nos prender em nós mesmos, afinal, somos um conjunto minúsculo de partículas.</p> <p>3. As aulas nos mostrassem exemplos e experimentações palpáveis, e simplificadas da física em si. Porque tudo é física, mas não temos essa noção.</p> <p>4. Todas as questões de física são interessantes, se aplicadas de uma forma didática.</p> <p>5. Não, é muita complexidade para nós. A ciência continuará evoluindo até nós deixarmos de existir.</p> <p>6. De onde viemos? Essa é uma pergunta que levou muitos ao tótemo e só especulações sobre, alguns creem, outros pedem provas, e é isso.</p>
4	<p>1. Educação física. Sociologia.</p> <p>2. Gosto muito, mas acho difícil.</p> <p>3. Se fosse mais fácil.</p> <p>4. Os temas abordados, a dificuldade.</p> <p>5. Nanotecnologia, seria</p>	<p>1. Ele foi evoluindo, e está se aperfeiçoando cada dia mais.</p> <p>2. Sim, ajudou, a física é um estudo com infinitas coisas a serem estudadas.</p> <p>3. Fosse mais teórica.</p> <p>4. Um pouco mais sobre antimatéria.</p>

	<p>interessante estudar sobre. 6.Sim, ela está presente no dia a dia. 7.Decorar conteúdos difíceis. 9.Pode sofrer alterações, como já foi provado.</p>	<p>5.Não, acho que será impossível, mesmo com a evolução da ciência. 6.Não, não conheço muito sobre.</p>
5	<p>1.Minha favorita é Geografia. As que menos gosto são a maioria das exatas. 2.Não muito. 3. Não fosse tão complicada. 4.Os estudos sobre a energia, e menos interessante os cálculos. 5. Mais sobre energia, velocidade 6.Mais ou menos, acho mais útil para quem é de exatas ou que vai estudar alguma coisa que envolva Física. 7.Entender bem os cálculos. 9.Por pesquisas, estudos, testes.</p>	<p>1.Que as pesquisas são muito importantes para descobrirmos mais sobre o mundo em que vivemos. 2.Sim, pois quanto mais nós aprendemos, melhor será. 3.Fosse menos cálculo. 4.Mais sobre como funciona a energia. 5.Acredito que sim, pois as pesquisas não param, uma hora iremos descobrir. 6.Teoria do Big Bang.</p>
6	<p>1.Educação Física. Inglês. 2.Não, acho chato. 3. - . 4.Que ela está em tudo que fazemos. 5. Não sei. 6.Sim, descobrir os segredos do Universo. 7.Todas. 9.São adquiridos por meio de estudos aprofundados. Pode sofrer alteração.</p>	<p>1.Que não sabemos todos os segredos do Universo. 2.sim, porque foi mostrado que a ciência, tecnologia e o Universo estão sempre mudando. 3. Fosse mais fácil os cálculos e fórmulas. 4.astronomia. 5.não acredito que conheceremos tudo, até porque o Universo sempre está mudando. Sim, a ciência está sempre em evolução. 6. - .</p>
7	<p>1.História, fatos do passado. Química, contas complexas. 2.Sim e não, não tenho uma resposta específica, depende qual parte da física. 3. Tivéssemos mais experiência e não só teoria. 4. Os experimentos. As contas. 5.A astrologia, comentar mais sobre as coisas do espaço. 6.Sim, pois certas coisas no nosso futuro dependem da Física. 7.Fazer os cálculos. 9.Não.</p>	<p>1. Que nada é literalmente 100% certo, teoria mudam, leis mudam, pode demorar anos e ano, mas pode acontecer. 2.Sim, ajudou muito, muitas dúvidas foram esclarecidas e também além disso, foi um grande ensinamento. 3. Entendesse melhor os cálculos e fosse mais comentado sobre o Universo na sala de aula. 4. Sobre o espaço e as mudanças dele. 5.Não acredito que um dia conheceremos todo ele, acredito que a ciência sempre vai estar em evolução e que nunca iremos ter certeza ou conhecer 100% o Universo. 6.Não.</p>
8	<p>1.Biologia. Física, pois sou de humanas. 2.Não, mas estou disposta a aprender. 3.Dinâmicas sobre a física. 4.Movimentos harmônico simples. 5.Movimento harmônico, aulas dinâmicas. 6.Sim, aprender leis naturais gerais. 7.Cálculos.</p>	<p>1.Que o Universo é muito grande, podemos até pensar que conhecemos muito, mas sempre terá coisas que não sabemos. 2.Sim, normalmente quando pensamos em física, pensamos em cálculos, agora tivemos um conhecimento mais amplo. 3.Não tivesse muita fórmula. 4. Gostaria de aprender com mais experimentos. 5.Acho que não, não sabemos ao certo o tamanho da galáxia, e sim, a ciência sempre estará em</p>

	9.Sim, o conhecimento pode sofrer alterações.	evolução. 6.Não.
9	1.Educação Física. 2.Não, pois não me interessa muito. 3. Se tivesse mais aulas práticas. 4.Física quântica, e menos interessante é a física clássica. 5.Física quântica seria bem legal. 6.Não muito, porém em muitas faculdades são necessárias. 7.Todas. 9.Não tenho nem ideia.	1.Muito boa. 2.Com certeza, bem melhor que as aulas convencionais. 3.Mais aulas práticas. 4.Gostaria de ter mais aulas sobre buracos negros e matéria escura. 5.Provavelmente, porém, é muito difícil essa certeza pois como tudo indica o Universo continua a crescer, então se um dia for capaz de saber tudo sobre isso, provavelmente demoraria centenas de anos. 6.Não sei de nenhuma mais, eu acho.
10	1.Matemática, prefiro exatas. Sociologia. 2.Sim, acho interessante. 3. Se fosse menos complexo. 4.As teoria física coisas do espaço, mas acho chato as contas. 5.Astrofísica acho um tema interessante, gosto de aprender coisas novas sobre buracos negros, estrela, etc. 6.Para mim não vejo utilidade, pois não utilizo muito no meu dia a dia. 7.Dificuldade em entender as fórmulas. 9.Mais ou menos.	1.Vi que existem muitas situações hipotéticas, que tentam provar a existência, como a matéria escura e também utilizam muitos cálculos. 2.Sim, aprendi coisas novas sobre a física, e parece ser um conteúdo infinito se olharmos o Universo. 3.Se não tivesse cálculos e palavras difíceis. 4.Aprender mais sobre o Universo e suas teorias. 5.Acho difícil, mas acredito na evolução da ciência. 6.Sim, física quântica, os buracos negros.
11	1.Geografia, ver a relação entre os países. 2.Não, não acho uma área interessante. 3. Não é a matéria ruim. 4.Força. Energia. 5.Acho que seria melhor se tivéssemos aulas menos técnicas e mais aulas mostrando alguns experimentos da física. 6.Não, na área que eu quero seguir não me será útil. 7.Entender as fórmulas. 9.Por meio de testes, pode sofrer alteração.	1.É algo que está mudando constantemente. 2. Sim, achei interessante ver mais conteúdo sobre a astrofísica. 3.Falássemos mai sobre conteúdos de astrofísica. 4.Buracos negros. 5.Não, sim, acredito que a ciência está em constante evolução. 6.Não.
12	1.Matemática, porque é de exatas. Sociologia, porque é de humanas. 2.Sim, porque ajuda a entender o que acontece. 3. Tivesse mais aulas práticas. 4.Não há nada que eu não ache interessante. 5.Aula prática sobre velocidade do som e da luz. 6.Sim, pode ser útil a qualquer momento.	1.Que ele está sempre sujeito a alterações. 2. Sim, pois sempre terá algo novo para descobrir. 3.Nos colégios existissem mais aulas práticas. 4.Física quântica. 5.Não, mesmo com toda a evolução é impossível dizer que somos capazes de descobrir tudo. 6.Sim, embora não saiba dizer quais.

	<p>7.Decorar fórmulas. 9.O conhecimento já estabelecido pode sofrer alterações.</p>	
13	<p>1.Inglês, pois acho as aulas descontraídas. Física, pois não entendo. 2.Não, acho muito difícil e não me interessa. 3.Eu compreende-se com mais facilidade. 4.Não gosto de nada em física. 5.Gosto de astronomia. 6.Acho alguns assuntos desnecessários. 7.Não consigo gostar e compreender. 9.Sim.</p>	<p>1.Que a ciência está sempre em evolução. 2.Sim, me fez querer aprender mais sobre astronomia. 3.Eu tivesse mais facilidade. 4.Nada. 5.Acredito que a ciência estará sempre em evolução. 6.Não sei.</p>
14	<p>1.Química. Filosofia, acho chato e inútil. 2.Sim, mas depende da área, por exemplo, astrofísica é muito interessante, enquanto eu não gosto da maioria da matéria de Física do ensino médio. 3. Fosse ensinadas as partes mais interessantes da física na escola. 4.Física moderna, grande parte da matéria do ensino médio, em especial, o conteúdo do primeiro ano. 5.Mais sobre a física moderna, astrofísica e etc. 6.Na prática nem tanto, mas é interessante aprender sobre. 7.Decorar fórmulas. 9.Através de pesquisa, caso seja descoberto algo que refute uma lei física, ela pode mudar.</p>	<p>1.Através de muita pesquisa. 2.Sim, pois foi comentado várias coisas que não são ensinadas na escola (e que deveriam ser) como o processo para as descobertas científicas. 3.Fosse abordado no geral, pois no modelo atual é ensinado algumas partes da física, e o estudo se foca nelas, deixando vários assuntos de lado, como a física moderna, por exemplo. 4.Mais sobre o processo para as coisas serem descobertas. Por exemplo, ao invés de estudar a teoria da relatividade geral, estudar também o processo para ter sido formulada essa teoria. 5.Talvez, depende da situações muito hipotéticas, mas se sim, vai demorar muito. 6.O início de tudo, e o fim (se existe e se sim, como) etc.</p>
15	<p>1.Artes. Química, odeio fazer contas difíceis. 2.Não muito, pois meu primeiro contato com a Física foi na Pandemia e isso dificultou um pouco o meu aprendizado. 3.Houvessem aulas experimentais. 4.Astrologia. Lei de Coulomb contas grandes. 5. - . 6.Dependendo de qual faculdade você quer fazer, a Física é útil. 7.Decorar fórmulas e as unidades de medida. 9.Não, mas acredito que com o tempo e com estudos aprofundados as teorias podem mudar.</p>	<p>1.Que continuará inovando. 2.Sim e acredito que com o avanço das tecnologias isso continuará sendo construído. 3.Tivessem aulas experimentais. 4.Física quântica. 5.Com o tempo, eu acredito, que a ciência estará em constante evolução e que surgirão novos astros e outras coisas para compor o Universo. 6.Eu acho que sim e que acredito que com o tempo serão descobertas coisas novas.</p>

16	<p>1.Geografia. Biologia, pois envolve muita probabilidade. 2.Sim, uma boa parte do conteúdo chama atenção. 3. Fosse mais prático e simples. 4.A antimatéria, matéria escura. Não gosto da força. 5.A antimatéria e o espaço e a matéria escura. 6.Compreender o espaço e a energia, tipo + e -. 7.Os cálculos, os meios para resolver as questões. 9.É muito difícil mudar, a ciência demorou anos para tudo isso.</p>	<p>1.Sempre em constante mudança. 2. Sim, dificilmente terá um fim nossas dúvidas. Me ajudou a entender muito um conteúdo que adoro. 3.Estudássemos melhor os melhores físicos. 4.Matéria escura e antimatéria. 5.Um dia talvez, mas sempre evoluindo. 6.Não sei.</p>
17	<p>1.Geografia. Sociologia. 2.Gosto, porém acho difícil. 3. Se fosse mais fácil. 4.Mais interessante como ela se aplica facilmente no mundo real e menos as suas teorias complexas. 5.Gostaria saber a anti matéria, falando sobre como é difícil obtê-la e seu alto custo e como é difícil de produzi-la. 6.Dependendo da sua profissão ela pode ser bem útil. 7.Com as contas, principalmente com os expoentes. 9.Acho que pode sim sofrer alterações.</p>	<p>1.Que sempre está em constante mudança. 2. Sim, ajudou muito. Entendi que a física é muito abrangente e que está em constante mudança. 3.Se tivesse mais aulas com você. 4.Sobre o Universo. 5.Acho que até lá a raça humana já terá sido extinta. 6.Existem vários paradigmas e teorias opostas, porém, não lembro.</p>
18	<p>1.Matemática. Artes. 2.Sim. 3. -. 4.A matemática. 5. -. 6.Sim. 7.Concentração. 9.Não.</p>	<p>1.Boa, é sempre bom aprender coisas novas. 2. Sim. 3. - . 4. - . 5.Sim. 6.Não.</p>
19	<p>1.Artes. Filosofia. 2.Gosto, porém tenho dificuldade. 3. Se não tivesse tantas fórmulas. 4.Calorimetria, e menos não tem nada. 5.Não tenho nenhum assunto em mente. 6.Sim, conhecer a Física é bom dependendo da área com que você pretende trabalhar. 7.Cálculos. 9.Tenho, e podem ser mudadas talvez com o avanço da tecnologia ou até da sociedade.</p>	<p>1.Que conforme a tecnologia avançou os conhecimentos avançaram com ela. 2. Sim, pois tem muita coisa a ser estudada ainda 3.Não tivessem tantas fórmulas. 4.Mais sobre o universo, matéria, entre outras coisas. 5.Talvez algum dia seja possível que possamos conhecer tudo e como diz a NASA "se vocês soubessem 1% do que sabemos, não dormiriam nunca mais". 6.Acredito que sim, até a forma como tudo foi criado pode ser um paradigma.</p>
20	<p>1.Geografia, bem entendo melhor. Química, acho muito complicado.</p>	<p>1.Que o Universo é imenso e não sabemos tudo dele.</p>

	<p>2.Sim, para mim não é uma disciplina difícil.</p> <p>3. - .</p> <p>4. - .</p> <p>5. - .</p> <p>6.Sim, Física está sempre presente no nosso cotidiano.</p> <p>7. Nenhuma.</p> <p>9. - .</p>	<p>2. Sim, ajudou muito a entender melhor.</p> <p>3.Fosse mais prática.</p> <p>4.Cálculos.</p> <p>5.Não, ou talvez sim como o passar de anos, pois o universo é infinito e a ciência sempre estará em evolução.</p> <p>6.Não.</p>
21	<p>1.Português, gosto de ler e escrever, sou boa em interpretação.</p> <p>2.Gosto sim, apesar de às vezes demorar para aprender cálculos.</p> <p>3. - .</p> <p>4.Acho interessante os experimentos.</p> <p>5.Com mais experimentos, atividades dinâmicas o teórico se torna cansativo às vezes.</p> <p>6.Sim.</p> <p>7.Cálculos.</p> <p>9.Pode sim.</p>	<p>1. Que todos os dias os pensamentos, as teorias mudam.</p> <p>2. Sim, ajudou muito.</p> <p>3.Eu gostaria mais de física se tivesse menos cálculo.</p> <p>4.Aprender mais sobre o universo pois é algo que não vemos tanto.</p> <p>5.Acredito que não, pois todos os dias algo nunca é descoberto e todos os dias as coisas dão mais avanço. Então não saberemos de tudo.</p> <p>6.Não.</p>
22	<p>1.História. Filosofia.</p> <p>2. Gosto de alguns conteúdos da física.</p> <p>3.Tivesse física nuclear nas escolas.</p> <p>4.Processo de eletrização. Transformar °C e K° em F°.</p> <p>5.Física nuclear, dependendo do conteúdo uma demonstração experimental pode ser interessante.</p> <p>6.Acho que algumas coisas podem ajudar no dia a dia.</p> <p>7.Entender as fórmulas.</p> <p>9.Estudo aprofundado, acho que alguns conhecimentos podem sofrer alguma alteração.</p>	<p>1. Entendi que o pensamento científico pode mudar de acordo com os avanços tecnológicos que acontecem.</p> <p>2. Sim, acredito que até acharem (ou se criarem) uma nova teoria que possa explicar tudo que existe, mudar teorias devem ser criadas e substituídas por outras.</p> <p>3. Estudar mais aprofundamento as teorias.</p> <p>4. Física quântica.</p> <p>5. Não sei.</p> <p>6. Não.</p>
23	<p>1. Geografia e Física, porque estudamos fatos, verdades. Filosofia, acho chato.</p> <p>2. Sim, é bom entender como funciona tudo, desde o começo do Universo.</p> <p>3. Se tivesse a oportunidade de ver mais conteúdos durante o ano.</p> <p>4. Quando estudamos sobre velocidade, espaço, relatividade do tempo, menos interessante a parte de conversão de energia.</p> <p>5. Física quântica e como a física começou a fazer parte do universo.</p> <p>6. Sim, muito útil, pois a Física está no nosso dia a dia (em tudo), desde a água que bebemos, até mesmo em construções.</p> <p>7. Guardar nomes e abreviações.</p>	<p>1. Que para se ter um fato comprovado é preciso de muitos anos de estudos sobre os assuntos, pois não é fácil conseguir uma confirmação de um fato.</p> <p>2. Sim, sinceramente é a minha parte favorita de todas, o universo é fascinante e quando percebemos que não sabemos a porcentagem que conhecemos sobre o universo, desperta ainda mais a curiosidade e a vontade de aprender mais sobre.</p> <p>3. Se estudássemos mais sobre as dúvidas da física em relação ao universo e se falássemos mais sobre os dados do universo que estarão em vigor até agora.</p> <p>4.Física quântica é as coisas que assombram os físicos e cientistas.</p> <p>5.Não, sempre teremos algo a estudar e sim, a ciência sempre está evoluindo.</p> <p>6.Sim, por exemplo a situação atual do buraco negro Ton-618 e os buracos de minhocas.</p>

	<p>9. Sim, pela minha percepção é de que são fatos comprovados cientificamente e matematicamente, com muita pesquisa, então é algo de confiança.</p>	
24	<p>1. Sociologia. Física, entendo na teoria, mas a prática de cálculos me faz chorar. 2. A teoria sim, cálculos não. Não sou fã de exatas. 3. Não houvesse cálculo. 4. Energia é a que mais gosto. Menos gosto é força. 5. Assuntos que envolvessem o universo e o tempo. Uma aula com muitas imagens, vídeos e exemplos seria ideal. 6. Ela é essencial para sabermos como fazer ou identificar várias coisas. 7. Cálculos. 9. Por meio da observação e experimentos. Acredito que de acordo com os novos conhecimentos adquiridos, podem ser questionadas leis anteriores.</p>	<p>1. É algo constante e contínuo, pois à medida que evoluímos nossas tecnologias, novos questionamentos e teorias vão surgindo. 2. Sim. Acho muito bom o acesso (mesmo que breve) a novos assuntos. 3. Ela fosse mais simples de ser aprendida. 4. Tempo. 5. Não. Creio que a ciência está sempre em evolução, já que o Universo está em constante expansão. 6. Não lembro de outra área do conhecimento com tantos paradigmas quanto a física.</p>
25	<p>1. Gosto de exatas no geral e odeio humanas. 2. Sim, me interesseo muito pela área. 3. - 4. Acho tudo muito interessante. 5. Buracos negros, seria interessante para mim. Não ligo para a turma. 6. Depende muito. 7. Não tenho muita dificuldade. 9. -</p>	<p>1. - 2. - 3. Se você fosse nossa professora. 4. As teorias de Einstein, buracos negros, buracos de minhoca, matéria escura. 5. Acredito que não, o Universo é muito vasto, há muitas coisas que não sabemos, e também teorias que não foram comprovadas. 6. Sim, buracos de minhoca.</p>
26	<p>1. Favoritas: Matemática, história, física, química e sociologia, pois adoro fazer cálculos e compreender a história da sociedade. A que menos gosto é biologia, pois não gosto de ter que decorar coisas soltas, o que acontece com muitos conceitos nessa área. 2. Sim, pois me permite compreender um pouco mais sobre o Universo e gosto de realizar cálculos. 3. Tivéssemos mais aulas práticas e experimentais. 4. As dinâmicas que relacionam espaço e tempo, teorias sobre multiverso... Estudos sobre movimento retilíneo, uniforme, etc.</p>	<p>1. A construção de métodos e análises na ciência é fruto do trabalho de diversas pessoas ao longo dos séculos, cada uma dentro do que era possível de acordo com sua conjuntura. Estudos nessa área devem sempre ser priorizados para que se possa conhecer cada vez mais a essência de tudo, o que aproxima o "macro" do "micro". 2. Sim, pois abordou diversos conteúdos que, além de ajudarem na compreensão de assuntos em física nunca estudados, despertou minha curiosidade em relação ao tema por seu caráter transformador. A física está constantemente em evolução. 3. Tivesse mais tempo para me dedicar a estudos na área. 4. Tudo que esteja relacionado à astrofísica. 5. Acredito que, mesmo que consigamos um mapeamento quase completo de tudo que existe, as transformações, colisões, mutações dos corpos</p>

	<p>5.As teorias de Albert Einstein e Stephen Hawking. 6.Sim, para entender melhor tudo ao meu redor e solucionar problemas cotidianos. 7.Memorizar fórmulas. 9. Não deu tempo.</p>	<p>podem alterar esse mapeamento prévio, portanto, a ciência estará sempre em evolução. 6.Não sei ao certo se isso se trata de um paradigma, mas assuntos relacionados à “viagem no tempo”e, se fosse possível voltar e alterar algo, isso teria implicações no futuro (que seria o presente).</p>
--	--	--

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Quadro 12: Respostas de alunos que só responderam o questionário Informativo/Inicial

Aluno	Questionário Inicial (informativo) (respostas às questões 1 a 9, a exceção questão 8)
27	<p>1.Educação Física. Matemática. Uma me sinto livre, enquanto a outra não consigo entender nada. 2.Gosto, gosto da parte teórica como leis e etc. 3.Tivesse menos conta. 4.Leis. Fórmulas e conta. 5.Assuntos sobre astronomia, universo, galáxias, planetas, estrelas... 6.Sim, é difícil para mim. 7.Contas e fórmulas. 9.Sim, a partir de estudos. Não sofre alteração.</p>
28	<p>1.Língua portuguesa. Física. 2.Sim, só tenho um pouco de dificuldade. 3.Se fosse mais dinâmico. 4.Estudo da energia. Cálculos. 5.Aulas mais dinâmicas, com mais práticas como experimentação. 6.Sim. 7.Fórmulas e cálculos. 9.Ao passar dos anos o conhecimento pode sofrer alteração.</p>
29	<p>1.Educação física. Matemática. 2.Sim. 3.Tivesse aula na quadra. 4.Notação científica. lei de Coulomb. 5.Universo. 6.Sim, ajuda muito. 7.As contas grandes. 9.Não tenho ideia, eu acho que não pode sofrer alteração.</p>
30	<p>1.Educação física. Matemática, por conta dos cálculos. 2.Gosto, acho uma matéria bem interessante. 3.Tivesse umas aulas na quadra. 4.Mais interessante os estudos, e o menos interessante os cálculos. 5.Se tivesse mais aula prática. 6.Sim, é útil para muitas coisas. 7.Cálculo na maioria das vezes. 9.Não, eu acho que pode sofrer alguma alteração.</p>
31	<p>1.Geografia. Química. 2.Gosto, é uma matéria que prende minha atenção. 3.Fizesse experimentos. 4.É o próprio conteúdo, existe conteúdo mais interessante e tem menos interessante. 5.Assuntos relacionados a astrofísica. 6.Eu acho que depende por conta da profissão que você vai escolher. 7.A teoria.</p>

	9. Não tenho a menor ideia.
32	1. Educação Física, porque gosto de praticar esporte. 2. Sim, é interessante quando você consegue entender as coisas. 3. Se eu conseguisse entender tudo o que a professora explica. 4. - 5. - 6. Sim, porque você aprende como e porque acontecem as coisas. 7. A minha maior dificuldade é as partes teóricas. 9. -

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Quadro 13: Respostas de alunos que só responderam ao Questionário Final

Aluno	Questionário Final (respostas às questões 1 a 6)
33	1. Sempre está em constante mudança. 2. Sim me ajudou. A física é muito abrangente. 3. Tivesse aulas práticas. 4. Não tenho nada em mente. 5. Não, a gente sabe alguma coisa, mas não sabemos nada, pois o universo é infinito. 6. Não.
34	1. Os cientistas tiveram muitos trabalhos realizados, para poderem chegar a uma conclusão. 2. Este módulo veio para nos mostrar o que mais existe, pois na grade curricular a matéria é vaga. 3. Fosse mais prático mostrando as teorias. 4. Estudo do universo, dos planetas. 5. O universo está em constante evolução, o que já conhecemos poderá mudar. 6. Não.
35	1. - 2. Com certeza, esse módulo ajudou muito na minha concepção. 3. - 4. Calorimetria e termodinâmica são os assuntos/conteúdos que mais gosto de falar sobre. 5. Na minha opinião, a ciência sempre estará evoluindo e cada vez, descobrindo novas coisas. 6. Universo sempre vai ser o maior paradigma.
36	1. - 2. Não, porque não tem nada a ver com as fórmulas que a professora X passa. 3. Se tivesse mais sobre a matéria escura. 4. Física quântica. 5. Sim, porque a cada ano, mais evolução estão aparecendo. 6. Não.
37	1. - 2. Creio que mais no futuro como um vestibular possa me ajudar. 3. - 4. - 5. Eu acredito que sim, vai levar um tempo, pois o universo não foi todo explorado e a ciência sempre estará evoluindo. 6. Não.
38	1. - 2. Com toda a certeza, o mundo em que vivemos é cheio de surpresas e mudanças, esse

	<p>módulo ajudou muito na concepção de como as coisas são de fato, e como e quais são os mistérios da ciência.</p> <p>3.Tivesse mais aulas práticas, com experimentos.</p> <p>4.A calorimetria e a termologia.</p> <p>5.Creio que o universo sempre contará com seus “segredos”, então acho que conheceremos boa parte, mas não por completo e que a ciência sempre estará evoluindo.</p> <p>6.O universo em si é um grande paradigma.</p>
39	<p>1.Sempre é bom reforçar os conhecimentos.</p> <p>2.Até criarem outra teoria não podemos tirar conclusões.</p> <p>3.Se eu conseguisse entender mais a matéria com facilidade.</p> <p>4.-</p> <p>5.Acredito que não.</p> <p>6.-</p>
40	<p>1.Que o universo é imenso e não sabemos tudo sobre ele.</p> <p>2.Sim acredito que ajudou muito a entender.</p> <p>3.Fosse mais aulas práticas.</p> <p>4.Cálculos.</p> <p>5.Acho que a ciência estará sempre em constante evolução e com isso conheceremos cada vez mais o que compõe o universo, mas tudo não.</p> <p>6.-</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

Apêndice D - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE)

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE)

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “Matéria e Energia Escura” no Ensino Médio: um tema de física moderna e contemporânea epistemologicamente efervescente, coordenada pela pesquisadora Andressa Varriale Moriggi, com orientação da Professora Neusa Teresinha Massoni e Coorientação do Professor Dimiter Hadjimichef, do Programa de Pós-Graduação de Ensino de Física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O projeto foi avaliado pelo CEP-UFRGS, órgão colegiado, de caráter consultivo, deliberativo e educativo, cuja finalidade é avaliar – emitir parecer e acompanhar os projetos de pesquisa envolvendo seres humanos, em seus aspectos éticos e metodológicos, realizados no âmbito da instituição. O CEP UFRGS está localizado na Av. Paulo Gama, 110, Sala 311, Prédio Anexo I da Reitoria - Campus Centro, Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060. Fone: +55 51 3308 3787 E-mail: etica@propesq.ufrgs.br Horário de Funcionamento: de segunda a sexta, das 08:00 às 12:00 e das 13:30 às 17:30 hs".

Com esta pesquisa, temos por objetivo investigar a potencialidade da construção/aplicação de uma Unidade Didática de Física e Cosmologia para discutir temas emergentes, como matéria e energia escura, pensada e adaptada para estudantes do Ensino Médio. Sendo assim, o tema será abordado contemplando este recorte atual da história da ciência, apresentando como se desenvolve o conhecimento científico com seus erros e acertos.

Você pode participar da pesquisa se você quiser, é um direito seu e não terá nenhum problema se desistir. Os adolescentes que participarão desta pesquisa têm de 16 a 19 anos de idade.

A pesquisa será feita no Colégio Estadual Visconde de Guarapuava, onde os adolescentes participaram das aulas mediante a debates e gravação em áudio das aulas. Este é um estudo baseado em uma abordagem qualitativa fundamentada em concepções de Creswell (2014), e envolve análise dos significados de falas e participações em sala de aula de Física, complementadas por questionários e conversas em sala de aula. A pesquisa será feita ao longo de quatro semanas, com o término previsto, aproximadamente, para maio de 2023.

Para isso, os materiais são compostos de: dois questionários a serem entregues em sala de aula; slides; vídeos de simulação; apostila que será entregue aos alunos de forma digital com o conteúdo do módulo para que possam acessar posteriormente às aulas. A atividade será mediante debates sobre o tema, que é considerado seguro, mas é possível ocorrer exposição de crenças próprias/individuais, uma vez que todo conhecimento científico pode, de alguma

forma, se opor a ideias de senso comum, ou mesmo decorrentes de crenças religiosas, ou de qualquer outra forma pessoal. Sendo assim, os alunos e a pesquisadora não serão obrigados a expor suas crenças, mas se ocorrer alusão a elas, não haverá nenhum debate que exponha os estudantes, e o assunto será encerrado no momento. Assim, o aluno que desejar a qualquer momento se abster de responder ou desistir da pesquisa poderá fazê-lo sem nenhum impedimento. Caso aconteça algo errado, você pode nos procurar pelos telefones que estão informados no começo do texto; mas há coisas boas que podem acontecer como o benefício relacionado à sua participação que será o de aumentar o conhecimento científico para a área de pesquisa em ensino de ciências e compreensão do Universo que o cerca, a fim de expandir seu conhecimento sobre a Física e Astrofísica.

Ninguém saberá que você está participando da pesquisa; não falaremos a outras pessoas, nem daremos a estranhos as informações que você nos der. Os resultados da pesquisa vão ser publicados em dissertação da conclusão do mestrado da pesquisadora, em eventos e/ou revistas científicas, mas sem identificar os adolescentes que participaram.

O resultado da pesquisa será descrito na dissertação de mestrado da aluna de Pós-Graduação que realiza esta pesquisa, o qual é garantido acesso aos participantes da pesquisa. Todo o material divulgado será enviado ao Colégio para que possa ser repassado aos pais/ responsáveis e aos alunos participantes da pesquisa.

Vale ressaltar que a qualquer momento você terá acesso ao registro do consentimento sempre que solicitar à pesquisadora. Também é assegurada a garantia de indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa.

Se você ou os responsáveis por você tiver(em) dúvidas com relação ao estudo, direitos do participante, ou riscos relacionados ao estudo, você deve contatar o(a) responsável por esta pesquisa, Andressa Varriale Moriggi, mestranda do Programa de Pós-Graduação de Ensino de Física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Da mesma forma, você pode contatar o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. O CEP por intermédio do telefone (51) 3308.3738.

Agradecemos a sua autorização e colocamo-nos à disposição para esclarecimentos adicionais.

CONSENTIMENTO PÓS-INFORMADO

Eu _____ aceito participar da pesquisa “Matéria e Energia Escura” no Ensino Médio: um tema de física moderna e contemporânea epistemologicamente efervescente.

Entendi as coisas ruins e as coisas boas que podem acontecer.

Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir e que ninguém vai ficar com raiva de mim.

Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis. Recebi uma cópia deste termo de assentimento e li e concordo em participar da pesquisa.

Guarapuava, _____ de _____ de 2023.

Assinatura do participante

Assinatura do coordenador da pesquisa

O CEP UFRGS está localizado na Av. Paulo Gama, 110, Sala 311, Prédio Anexo I da Reitoria - Campus Centro, Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060. Fone: +55 51 3308 3787 E-mail: etica@propesq.ufrgs.br Horário de Funcionamento: de segunda a sexta, das 08:00 às 12:00 e das 13:30 às 17:30 h.

Programa de Pós Graduação em Ensino de Física Universidade Federal do Rio Grande do Sul está localizado na Av. Bento Gonçalves 9500 Caixa Postal 15051 CEP 91501-970 Porto Alegre, RS – Brasil Fone: +55 51 3308 6431 E-mail: ppgenfis@if.ufrgs.br

Contato da pesquisadora responsável:

Andressa Varriale Moriggi

Apêndice E - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Prezado(s) Responsável(is),

Convidamos seu/sua filho(a) a participar da pesquisa “Matéria e Energia Escura” no Ensino Médio: um tema de física moderna e contemporânea epistemologicamente efervescente, coordenada pela pesquisadora Andressa Varriale Moriggi, com orientação da Professora Neusa Teresinha Massoni e Coordenação do Professor Dimiter Hadjimichef, do Programa de Pós-Graduação de Ensino de Física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O projeto foi avaliado pelo CEP-UFRGS, órgão colegiado, de caráter consultivo, deliberativo e educativo, cuja finalidade é avaliar – emitir parecer e acompanhar os projetos de pesquisa envolvendo seres humanos, em seus aspectos éticos e metodológicos, realizados no âmbito da instituição. O CEP UFRGS está localizado na Av. Paulo Gama, 110, Sala 311, Prédio Anexo I da Reitoria - Campus Centro, Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060. Fone: +55 51 3308 3787 E-mail: etica@propeq.ufrgs.br Horário de Funcionamento: de segunda a sexta, das 08:00 às 12:00 e das 13:30 às 17:30 hs".

Antes de dar o seu consentimento, gostaríamos que lesse atentamente as seguintes informações.

NATUREZA DA PESQUISA: Esta é uma pesquisa que tem como finalidade investigar a potencialidade da construção/aplicação de uma Unidade Didática de Física e Cosmologia para discutir temas emergentes, como matéria e energia escura, pensada e adaptada para estudantes do Ensino Médio. Sendo assim, o tema será abordado contemplando este recorte atual da história da ciência, apresentando como se desenvolve o conhecimento científico com seus erros e acertos.

PARTICIPANTES DA PESQUISA: Participarão desta pesquisa em torno de 42 alunos da turma de terceiro ano do Colégio Estadual Visconde de Guarapuava. O módulo de aula será aplicado em sala de aula, com o acompanhamento da professora regente da turma, isto é, a professora do colégio.

ENVOLVIMENTO NA PESQUISA: Ao participar deste estudo seu/sua filho(a) irá participar de debates em sala de aula durante as aulas da pesquisadora; irá preencher dois questionários sobre o conhecimento em Física e acerca do tema da pesquisa e terá o áudio das aulas sendo gravadas, porém, mantendo toda e qualquer forma de confidencialidade preservada, como citado mais abaixo. É previsto em torno de quatro semanas, sendo as duas últimas semanas com a aplicação prática da pesquisa. Você tem a liberdade de se recusar a participar e tem a liberdade de desistir de participar em qualquer momento que decida. Sempre que você queira mais informações sobre este estudo podem entrar em contato com a pesquisadora, Andressa Varriale Moriggi.

SOBRE O QUESTIONÁRIO: Serão solicitadas algumas informações básicas/perguntas sobre o conhecimento antecedente da disciplina de Física.

RISCOS: Os procedimentos utilizados obedecem aos critérios da ética na pesquisa, conforme a Resolução 466/2012 e a Resolução 510/2016, do Conselho Nacional de Saúde. Os possíveis riscos são exposição de crenças próprias/individuais, uma vez que todo conhecimento científico pode, de alguma forma, se opor a ideias de senso comum, ou mesmo decorrentes de crenças religiosas, ou de qualquer outra forma pessoal. Sendo assim, os alunos e a pesquisadora não serão obrigados a expor suas crenças, mas se ocorrer alusão a

elas, não haverá nenhum debate que exponha os estudantes, e o assunto será encerrado no momento. Assim, o aluno que desejar a qualquer momento se abster de responder ou desistir da pesquisa poderá fazê-lo sem nenhum impedimento. Caso aconteça algo errado, você pode nos procurar pelos telefones que estão informados no começo do texto. Tais riscos serão resolvidos com encaminhamentos que garantam cuidados e respeito de acordo com a manifestação do respondente.

CONFIDENCIALIDADE: Todas as informações coletadas nesta investigação são estritamente confidenciais. Trataremos todas as informações sem que haja identificação de particularidades de cada entrevistado. Os resultados obtidos na pesquisa serão utilizados para alcançar os objetivos do trabalho expostos acima, incluindo a possível publicação na literatura científica especializada.

BENEFÍCIOS: Ao participar desta pesquisa, você não terá nenhum benefício direto; entretanto, esperamos que futuramente os resultados deste estudo ajude a aumentar o conhecimento científico para a área de pesquisa em ensino de ciências e compreensão do Universo que o cerca, a fim de expandir o conhecimento sobre a Física e Astrofísica.

PAGAMENTO: Você não terá nenhum tipo de despesa por participar deste estudo, bem como não receberá nenhum tipo de pagamento por sua participação.

DO ACESSO AOS RESULTADOS: O resultado da pesquisa será descrito na dissertação de mestrado da aluna de Pós-Graduação que realiza esta pesquisa, o qual é garantido acesso aos participantes da pesquisa. Todo o material divulgado será enviado ao Colégio para que possa ser repassado aos pais/ responsáveis e aos alunos participantes da pesquisa.

Vale ressaltar que a qualquer momento você terá acesso ao registro do consentimento sempre que solicitar à pesquisadora. Também é assegurada a garantia de indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa.

Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para que participe desta pesquisa. Para tanto, preencha os itens que se seguem:

Desde já, agradecemos a atenção e sua participação. Caso queiram contatar a equipe, isso poderá ser feito pelo email e ao Comitê de Ética em Pesquisa UFRGS (51) 3308 3738. etica@propeq.ufrgs.br Av. Paulo Gama, 110, Sala 311 Prédio Anexo I da Reitoria - Campus Centro Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, entendi os objetivos desta pesquisa, bem como, a forma de participação. Eu li e compreendi este Termo de Consentimento, portanto, concordo em participar.

Local e data: _____, _____ de _____ de 2023.

(Assinatura do responsável)

Eu, Andressa Varriale Moriggi, aluna de mestrado do Programa de Pós-Graduação de Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pesquisadora da pesquisa intitulada “Matéria e Energia Escura” no Ensino Médio: um tema de física moderna e contemporânea epistemologicamente efervescente, obtive de forma apropriada e voluntária o consentimento

Livre e Esclarecido do sujeito da pesquisa ou representante legal para a participação na pesquisa.

(Assinatura da pesquisadora responsável)

O CEP UFRGS está localizado na Av. Paulo Gama, 110, Sala 311, Prédio Anexo I da Reitoria - Campus Centro, Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060. Fone: +55 51 3308 3787 E-mail: etica@propeq.ufrgs.br Horário de Funcionamento: de segunda a sexta, das 08:00 às 12:00 e das 13:30 às 17:30 h.

Programa de Pós Graduação em Ensino de Física Universidade Federal do Rio Grande do Sul está localizado na Av. Bento Gonçalves 9500 Caixa Postal 15051 CEP 91501-970 Porto Alegre, RS – Brasil Fone: +55 51 3308 6431 E-mail: ppgenfis@if.ufrgs.br

Contato da pesquisadora responsável:

Andressa Varriale Moriggi

Apêndice F - Quadros referentes às declarações dos estudantes e significados formulados (pela pesquisadora)

O Quadro 14 exemplifica as *declarações significativas* e seus *significados formulados* a partir das respostas obtidas no Questionário Final.

Quadro 14: Exemplos escolhidos de declarações significativas e seus significados formulados a partir das respostas do Questionário Final

Referente a questão:	
1) Qual foi sua percepção da construção do pensamento científico?	
Declaração significativa	Significado formulado
Aluno 7: <i>“Que nada é literalmente 100% certo, teoria mudam, leis mudam, pode demorar anos e ano, mas pode acontecer.”</i>	O aluno demonstra uma concepção de ciência adequada à visão epistemológica contemporânea (BACHELARD 1971; 1979; 1996), manifestando percepção de que a ciência estará sempre se aperfeiçoando.
Referente a questão:	
2) Você acredita que este pequeno módulo o ajudou na compreensão da disciplina de Física como um caminho ainda a ser construído e que pode nunca acabar ? Comente sua resposta.	
Declaração significativa	Significado formulado
Aluno 3: <i>“Sim, com essas aulas pude ter a dimensão do nosso universo, e como ele é formado, e que não existe verdade absoluta, e não devemos nos prender em nós mesmos, afinal, somos um conjunto minúsculo de partículas.”</i>	Interpretamos como sendo um reforço da hipótese inicial de nossa pesquisa, de que discutir temas atuais da Física, Astrofísica, Cosmologia transforma as visões dos alunos. Neste caso o aluno parece revelar seu entendimento de que a busca pelo conhecimento não fornece uma resposta absoluta.
Referente a questão:	
3) “Eu gostaria mais de Física se...” complete a sentença.	
Declaração significativa	Significado formulado
Aluno 23: <i>“Se estudássemos mais sobre as dúvidas da física em relação ao universo e se falássemos mais sobre os dados do universo que estão em vigor até agora.”</i>	O aluno reconhece a importância de aprofundar os estudos que permeiam os paradigmas da ciência e destaca uma possível discussão sobre as teorias aceitas, de forma a obter uma aprendizagem significativa crítica (MOREIRA, 2010)

Referente a questão:	
4) O que você gostaria de aprender/debater em aulas de Física?	
Declaração significativa	Significado formulado
Aluno 4: <i>“Todas as questões de física são interessantes, se aplicadas de uma forma didática.”</i>	A importância de um ensino que leve em consideração os conhecimentos prévios dos alunos, adotando estratégias de ensino que gerem debates e contextualizações.
Aluno 14: <i>“Mais sobre o processo para as coisas serem descobertas. Por exemplo, ao invés de estudar a teoria da relatividade geral, estudar também o processo para ter sido formulada essa teoria.”</i>	Há interesse pelo processo histórico e metodológico da ciência.
Aluno 20: <i>“Cálculos.”</i>	Aluno expressa um desejo em adquirir habilidades acerca da matemática estruturante da física.
Referente a questão:	
5) Você acredita que um dia conheceremos tudo que compõe o Universo? Todas as suas leis? Ou que a ciência estará sempre em evolução?	
Declaração significativa	Significado formulado
Aluno 38: <i>“Creio que o universo sempre contará com seus ‘segredos’, então acho que conheceremos boa parte, mas não por completo e que a ciência sempre estará evoluindo.”</i>	Noção de que a ciência está em constante evolução, assim como o Universo, aprimorando as teorias atuais.
Aluno 9: <i>“Provavelmente, porém, é muito difícil essa certeza pois como tudo indica o Universo continua a crescer, então se um dia for capaz de saber tudo sobre isso, provavelmente demoraria centenas de anos.”</i>	Sugere a possibilidade de uma mudança na compreensão das teorias científicas, porém, a ciência normal é um processo de conhecimento lento (KUHN apud MASSONI, 2003)
Aluno 17: <i>“Acho que até lá a raça humana já terá sido extinta.”</i>	Há uma visão crítica da sociedade quanto à sua interação com a natureza, podendo gerar sua própria extinção.

Referente a questão:	
6) Há outros paradigmas, na Física e em outras áreas do conhecimento, que você saiba que existem? Se sim, qual(is)?	
Declaração significativa	Significado formulado
Aluno 3: “De onde viemos? Essa é uma pergunta que levou muitos ao túmulo e só especulações sobre, alguns creem, outros pedem provas, e é isso.”	Indica uma reflexão profunda do aluno em relação à origem da humanidade, reconhecendo a existência de diferentes perspectivas e abordagens nesse debate.
Aluno 23: “Sim, por exemplo a situação atual do buraco negro ton-618 e os buracos de minhocas.”	O aluno menciona especificamente a situação atual do buraco negro Ton-618 ¹⁷ e os buracos de minhoca como exemplos de paradigmas. Sugere que estes fenômenos levam os cientistas a buscarem um avanço na compreensão da ciência.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

O Quadro 15 exemplifica as *declarações significativas* e seus *significados formulados* a partir das respostas obtidas em falas gravadas em áudio durante as aulas.

Quadro 15: Exemplos escolhidos de *declarações significativas* e seus significados formulados a partir das respostas gravadas em áudios das intervenções nas aulas

Declaração significativa	Significado formulado
<p>Referente a Aula 1:</p> <p>Contexto: pergunta realizada por aluno após acabar a aula, a partir da informação de que tudo que vemos está no passado, em referência à luz:</p> <p>Aluno 12: “Professora, se a gente pudesse estar num local fora da Terra, bem longe e apontar uma lente muito boa, poderíamos ver os dinossauros?”</p>	Aluno demonstrou de forma ingênua e curiosa, sobre ver o passado; nota-se que o substancialismo bachelardiano da visualização da evolução do Universo a partir da luz e radiação cósmica, gerou uma concepção de imagem formada, talvez como uma fotografia ou filme [ênfase nossa].
Referente a Aula 2:	A visão dos alunos a partir destas respostas, demonstra uma ideia de ciência à luz de Laudan

¹⁷ <https://www.durham.ac.uk/news-events/latest-news/2023/03/light-bending-gravity-reveals-one-of-the-biggest-black-holes-ever-found-/> acessado em julho de 2023.

<p>Questão em aula realizada pela pesquisadora: <i>O que vocês entendem por cientificamente comprovado?</i></p> <p>Aluno 12: “Que precisou de muita pesquisa”</p> <p>Aluno 26: “Algo que os cientistas estudaram muito tempo”</p> <p>Aluno 7: “Que passa por testes dos cientistas”</p>	<p>(apud MASSONI, 2003), onde existem tradições de investigação até que se obtenha uma teoria científica.</p>
<p>Referente a Aula 4:</p> <p>Contexto: Explicação da gravidade sobre Teoria da Gravidade de Isaac Newton em contraste a Teoria da Relatividade Geral de Einstein</p> <p>Aluno 14: “Mas como assim a gravidade não é a gravidade?”</p> <p>Aluno 26: “Mudou a gravidade?”</p>	<p>A resposta dos alunos diante de uma possível alteração no conceito de gravidade, que até então era amplamente estabelecido com o modelo de Newton e ensinado no currículo escolar, indica a oportunidade de uma potencial transformação conceitual, conforme a perspectiva de Toulmin (apud Massoni, 2003).</p>

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

O Quadro 16 exemplifica as *declarações significativas* e seus *significados formulados* a partir das respostas obtidas com sistema simples de votação ao levantem a mão mediante pergunta objetiva e falas gravadas em áudio durante a questão apresentada na aula.

Quadro 16: Exemplos escolhidos de *declarações significativas* e seus significados formulados a partir das respostas objetivas apresentadas em aula (nota-se que os alunos foram referenciados como A,B,C,D por serem falas paralelas, não podendo ser identificados pontualmente os alunos).

Declaração significativa	Significado formulado
<p>Referente a Aula 4:</p> <p>1) Quem considera que a Matéria Escura será uma nova partícula ou algo novo que a ciência ainda não tem conhecimento?</p>	<p>A resposta majoritária dos alunos que acreditam que o futuro da Matéria Escura seja a descoberta de uma nova partícula ressalta o viés de conciliação da filosofia do não de Bachelard (1978) ao avanço do conhecimento a partir de uma ruptura com os conhecimentos já existentes.</p>

<p>26 alunos levantam a mão de forma a “positivar”</p>	
<p>2) Quem considera que a Matéria Escura será uma modificação das leis e teorias já existentes na ciência, porém com um entendimento diferente?</p> <p>12 alunos levantaram a mão em resposta a esta questão.</p>	<p>A minoria dos alunos acredita que a ciência ainda não alcançou todo o seu potencial na compreensão das leis estabelecidas atualmente, mas está expandindo com o avanço da tecnologia, podendo, em um futuro, abranger os conhecimentos acerca dos paradigmas.</p>
<p>3) Em quanto tempo você acredita que a ciência levará para compreender se é de fato uma nova matéria ou uma modificação das leis já existentes?</p> <p>Aluno A: “20 anos” Aluno B: “100 anos” Aluno C: “40 anos” Aluno D: “200 anos”</p>	<p>As respostas divergentes refletem as diferentes perspectivas dos alunos, demonstrando suas visões sobre a evolução da ciência em consonância com os avanços da tecnologia e da sociedade.</p>

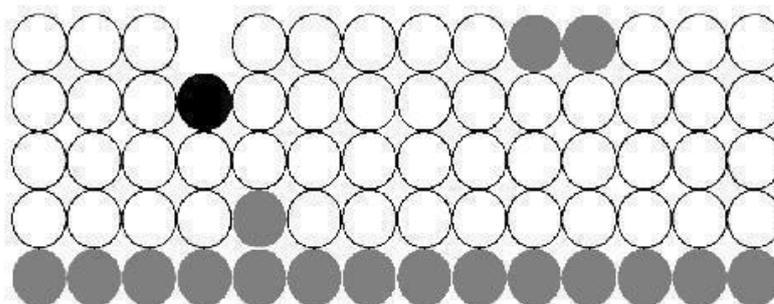
Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2023).

**Apêndice G - Texto de Apoio entregue aos estudantes durante a aplicação da
Unidade Didática**

TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

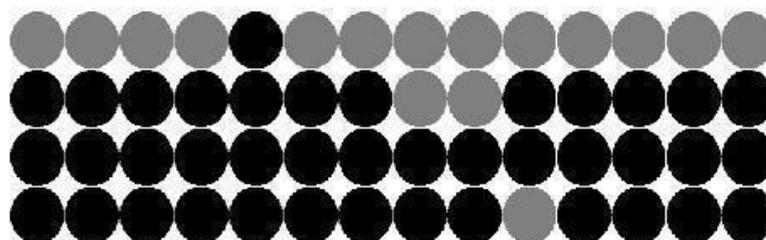
v. 33, n. 1, 2022

ISSN 2448-0606



**Matéria Escura e Energia Escura: uma revisão da literatura sobre
um dos maiores enigmas da Física e Cosmologia contemporâneas**

Gabriel de Angelis N. Guimarães Ramires
Neusa Teresinha Massoni
Andressa Varriale Moriggi



Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

 Instituto
de Física UFRGS

Textos de Apoio ao Professor de Física, v. 33, n. 1, 2022
Instituto de Física – UFRGS
Programa de Pós – Graduação em Ensino de Física

Editores: Marco Antonio Moreira
Eliane Angela Veit

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Setor Técnico da Biblioteca Professora Ruth de Souza Schneider
Instituto de Física/UFRGS

R173m Ramires, Gabriel de Angelis N. Guimarães

Matéria escura e energia escura: uma revisão da literatura sobre um dos maiores enigmas da física e cosmologia contemporâneas [recurso eletrônico] / Gabriel de Angelis N. Guimarães Ramires, Neusa Teresinha Massoni, Andressa Varriale Moriggi – Porto Alegre : UFRGS, 2022.

61 p. ; il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco Antonio Moreira e Eliane Angela Veit, ISSN 2448-0606; v. 33, n. 1)

Disponível em:

<http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v33n1.pdf>

1. Astronomia 2. Matéria escura 3. Energia escura I. Ramires, Gabriel de A. N. G. II. Massoni, Neusa Teresinha III. Moriggi, Andressa Varriale IV. Título V. Série

PACS: f95.

Sumário

Introdução	5
Um olhar a partir do aporte epistemológico de Bachelard	7
Breve histórico da Cosmologia e Astronomia Galáctica	9
<i>Observação sobre curvas planas: entendendo melhor a discrepância entre as velocidades observada e esperada das estrelas</i>	14
<i>Terceira lei de Kepler</i>	14
<i>A detecção acidental da Radiação de Fundo: Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson</i>	17
Matéria escura	21
<i>Outras formas de manifestação da matéria escura: as Lentes Gravitacionais</i>	21
<i>Colisão de Clusters</i>	23
<i>Tentativas de explicação da matéria escura</i>	24
<i>WIMPS</i>	25
<i>Experimentos e observações (detecção direta)</i>	26
<i>DAMA (Gran Sasso Dark Matter)</i>	27
<i>Observação sobre as possíveis fontes de fundo (aprofundando o conteúdo)</i>	27
<i>CDMS</i>	27
<i>Axions</i>	27
<i>Aniquilação de partículas de matéria escura (detecção indireta)</i>	28
<i>Matéria escura interagente</i>	30
<i>Impactos de cometas</i>	31
<i>Como objetos (os cometas) vêm da Nuvem de Oort até nós?</i>	32
<i>Mais problemas com a "periodicidade"</i>	33
<i>O disco escuro</i>	33
<i>Incertezas e erros</i>	34
Energia escura	35
<i>Estudos a partir da observação de supernovas</i>	35
<i>Efeito da energia escura. Princípio cosmológico. Geometria do universo</i>	36
<i>A hipótese da Expansão do universo: como surgiu?</i>	39
Conclusão	45
Referências	49
TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA	53

Introdução

Prezado Professor:

Este texto aborda um dos maiores enigmas que a Física e a Cosmologia enfrentam na contemporaneidade: a matéria escura e a energia escura.

O que vemos e conhecemos atualmente do Universo, as árvores, as montanhas, as nuvens, a água, as pessoas, os planetas, as galáxias, todo esse conhecimento é obtido através da interação eletromagnética, ou seja, através da luz. São processos de observação e pesquisa em que a luz está envolvida que nos permitem compreender melhor o mundo. Luz é emitida por estrelas, galáxias, cometas, aglomerados de galáxias, e é captada por grandes telescópios, tanto aqueles instalados na Terra quanto os enviados ao espaço, como o Hubble e o moderno James Webb, este último recentemente lançado. Ocorre que apenas 15% da matéria que compõe as galáxias interage com a luz, o restante (85%) não interage, isto é, não é visível. Por isso os cientistas a chamam de “matéria escura” e “energia escura”. Assim, segundo as teorias e as evidências atuais, o universo observável (a parte que interage com a luz, e é constituída de prótons, elétrons e nêutrons) corresponde a apenas 5%, sendo o restante basicamente composto de energia escura (~68%), matéria escura (~27%) (ALVES-BRITO; MASSONI, 2019).

A dificuldade que os cientistas têm para detectar a matéria escura é que ela interage apenas fracamente com a matéria comum, também chamada de “matéria ordinária”. A interação dá-se através da força fraca e da força gravitacional. Uma das formas de tentar “achar” a matéria escura é através da chamada “detecção direta”, isto é, através de detectores instalados na Terra (existem vários distribuídos geograficamente em nosso planeta; um desses detectores, por exemplo, está na Itália em que é utilizado o elemento argônio; quando a partícula de massa escura passa ela colide com o núcleo do argônio, este sofre um deslocamento (um recuo) e emite luz; essa luz é captada pelo detector).

Outra forma é a “detecção indireta”. Por exemplo, nossa galáxia está imersa num halo de matéria escura; quando partículas de matéria escura passam em grande velocidade pelas estrelas, por exemplo pelo Sol, elas colidem com átomos [do Sol] e perdem tanta velocidade que acabam capturadas pelo Sol; então, a densidade de

matéria escura cresce no núcleo do Sol de maneira que as partículas acabam colidindo entre si, provocando uma aniquilação (partículas de matéria e antimatéria escura se aniquilam) e expulsam neutrinos, que são detectados na Terra (por exemplo, no Polo Sul existe o detector *IceCube* com cabos detectores instalados a 2.000 metros de profundidade no gelo).

Existem atualmente vários candidatos a matéria escura. Porém a pesquisa nessa área tem muitas complexidades, porque é preciso garantir que outras partículas de matéria ordinária não estejam acionando o detector.

Este texto consiste em uma revisão da produção acadêmica existente nessa área tão interessante, e que ainda se apresenta como um enigma, isto é, trata-se de uma ciência em construção, razão por que podemos discutir várias características na natureza de uma ciência. Porém, destacamos que, por ser uma revisão de literatura, para aprofundamentos é fundamental consultar os textos-fonte indicados ao final, nas Referências.

Um olhar a partir do aporte epistemológico de Bachelard

O olhar para este tema tão desafiante pode ser mais bem compreendido se nos apoiarmos na visão de ciência do filósofo da ciência francês Gaston Bachelard (1884-1962).

Para Bachelard, o processo mesmo de construção do conhecimento pode ser colocado em termos de superação dos *obstáculos epistemológicos*. Trata-se de superar ideias simples, hesitações ou crenças enraizadas que dificultam o desenvolvimento do espírito científico.

Para Bachelard, as ciências contemporâneas (Física, Química, a Cosmologia etc.) colocam-se epistemologicamente como campos de pensamento que rompem com o conhecimento anterior, tendem sempre a superar obstáculos epistemológicos. Assume que o erro tem um papel importante, pois aprendemos com ele. O erro na visão de Bachelard não é fruto da imperícia, ao contrário, a retificação do erro permite reconstruir o pensamento científico, que deve permanentemente se questionar, desiludir-se com o conhecimento já existente. Essa é uma via para romper a estagnação, para abrir-se ao novo. Assim como é salutar organizar e arrumar a casa onde vivemos, o espírito científico precisa se reorganizar, reconstruir-se, oxigenar-se, superar o erro, ressignificar conceitos, normas científicas e teorias, propor novas hipóteses, planejar novos experimentos. Bachelard vê na ciência uma virtude e por isso alerta para a importância de ser compreendida de maneira a formar uma cultura científica.

Para ele, a compreensão de um fenômeno físico precisa ser conhecido quanto aos valores experimentais e quanto aos valores racionais e teóricos, sem que se precise se colocar nos extremos. O verdadeiro espírito científico precisa transitar livremente entre esses extremos, de um lado a empiria, os experimentos e, de outro, as teorias, a razão e as formulações matemáticas.

Na moderna Física, especialmente na Astrofísica e Cosmologia, à medida que a ciência avança o contato direto com a realidade é cada vez mais difuso e o racionalismo matemático e busca de evidências indiretas se tornam cada vez mais ativos.

Breve histórico da Cosmologia e Astronomia Galáctica

O grande desenvolvimento da Astronomia Galáctica, isto é, o estudo da composição e movimento das estrelas, cometas, asteroides e outros os objetos e corpos dentro da galáxia, foi possibilitado no último século pelo avanço de novas técnicas como a espectroscopia, o telescópio, a fotografia, e pelo estudo da radiação, da termodinâmica e do eletromagnetismo clássico (BRUMFIEL, 2003). Por outro lado, nos últimos 100 anos a Astrofísica Estelar, foi impulsionada pelas modernas teorias da Relatividade e da Física Quântica, e pelo computador, que representam um arcabouço teórico robusto na direção de uma teoria unificada da evolução do universo. É na perspectiva de um universo dinâmico e em expansão (em oposição ao modelo de universo estático aceito até a década de 1920) que os astrônomos Fritz Zwicky e Vera Rubin são considerados, do ponto de vista histórico, os precursores da hipótese de existência de matéria e energia escuras.

Na Cosmologia moderna, que é uma ciência relativamente nova, aceita-se, como já comentado, que apenas em torno de 5% de tudo o que constitui o universo visível é conhecido, o que inclui galáxias, estrelas, planetas e nós próprios, os seres humanos. Isto significa reconhecer que aproximadamente 95% das maravilhas do nosso Universo, em que estão subjacentes os princípios da Física, pertence aos mistérios que parecem inesgotáveis (ZIMDAHL, 2021). Assim, a matéria escura e a energia escura ainda são incógnitas ou "coisas" misteriosas para os cientistas que estudam essa parcela desconhecida do nosso universo.

A compreensão dessas duas "coisas" misteriosas para o entendimento da dinâmica do universo (natureza e movimentos de estrelas e galáxias) constitui, assim, um dos principais problemas em aberto da/na astrofísica e física atuais. É interessante perceber que ao se referir à matéria escura e à energia escura como "coisas" misteriosas é porque, de fato, ainda não se sabe do que se trata. Mas antes de falarmos das hipotéticas partículas de matéria escura ou até mesmo da energia escura, vamos entender o porquê os cientistas têm necessidade de conjecturar sua existência, mesmo nunca tendo "visto" ou detectado sua presença por telescópios, satélites ou, até mesmo, nos sofisticados laboratórios subterrâneos.

As primeiras suspeitas da existência de "matéria desconhecida" em uma

galáxia vieram com as observações do astrônomo Fritz Zwicky, em 1933, quando percebeu que havia pouca matéria visível no aglomerado denominado Coma para explicar o movimento das cerca de mil galáxias dentro desse aglomerado. Em outras palavras, Zwicky percebeu que a dispersão das velocidades das galáxias era muito maior do que o esperado, com valores em torno de 1000 km/s, que é muito próximo ao que se aceita hoje. Usando isso, Zwicky estimou que a densidade média da matéria do aglomerado de Coma era algumas centenas de vezes maior do que a estimativa que levava em conta apenas a matéria visível. Embora este não seja o cálculo mais preciso aceito hoje, Zwicky apresentava uma proposta correta: devia haver outro tipo de matéria, não luminosa, atuando lá dentro do aglomerado de Coma para mantê-lo ligado pela força gravitacional. Na época, contudo, seus resultados não foram levados muito a sério pela comunidade científica (DIAS, 2022).



Figura 1: Imagem do aglomerado de Coma, "captado" pelo telescópio espacial Hubble. Disponível em: <https://www.nasa.gov/image-feature/hubble-explores-the-coma-clusters-more-than-1000-galaxies>.

Somente mais tarde, com os trabalhos mais "precisos" da astrônoma Vera Cooper Rubin, é que foi observado que a velocidade de rotação de estrelas periféricas, isto é, nas regiões externas das galáxias espirais estudadas era muito maior do que aquela que seria produzida por sua matéria visível (BARBUY, 2005). Vera Rubin analisou o comportamento de estrelas da galáxia espiral Andrômeda, a mais próxima da Via Láctea, que é nossa própria galáxia. Obteve que a velocidade de

rotação das estrelas mais afastadas era duas vezes maior do que o previsto pela teoria usando apenas a contribuição da matéria visível (DIAS, 2022).



Figura 2: Vera Rubin trabalhando no Observatório Lowell, em 1965. Crédito de imagem: Washington Times/Zuma. Fonte: Wikipedia.

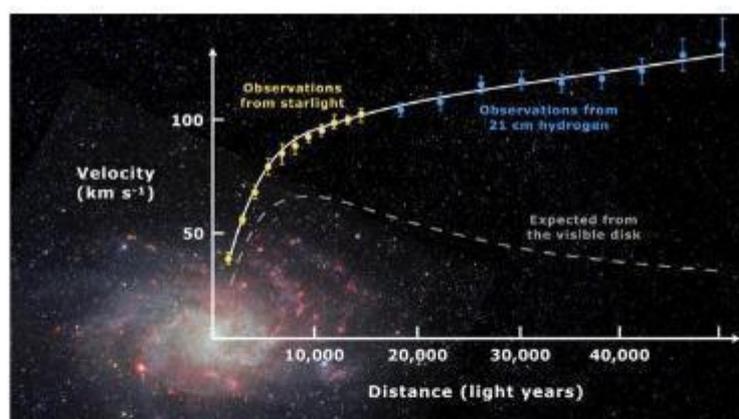


Figura 3: Curva de rotação da galáxia em espiral (mostrando a discrepância entre as duas curvas: observada versus prevista).
Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Rotation_curve_of_spiral_galaxy_Messier_33_\(Triangulum\).png](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Rotation_curve_of_spiral_galaxy_Messier_33_(Triangulum).png)

Assim sendo, era necessário supor, segundo Rubin, a existência de uma “massa” adicional (SWART, BERTONE, Van DONGEN, 2017), e como essa massa adicional não era visível, pertencia ao que ficou conhecido como “setor escuro”, ou “matéria escura”, que ainda hoje demanda explicações pela ciência.

Para ganhar mais atenção a ideia da "matéria escura" deveria, de alguma forma, chamar a atenção dos pesquisadores de muitas formas! Foi o que ocorreu. São muitas as manifestações da matéria escura que intrigam os físicos teóricos, astrofísicos, astrônomos, cosmólogos, químicos etc. Dentre essas manifestações a mais conhecida é a relacionada com os impactos gravitacionais da matéria escura; historicamente falando, a matéria escura era necessária frente aos resultados dos trabalhos de Vera Rubin e Fritz Zwicky, como já comentado. Por exemplo, os astrônomos podem observar uma manifestação da matéria escura na nossa própria galáxia, ao analisar que as velocidades de rotação das estrelas são aproximadamente constantes em função da distância do centro da galáxia. Tal resultado está em desacordo com as curvas de rotação esperadas pela distribuição da matéria visível, ou seja, as estrelas que compõem os braços das galáxias giram em torno do centro da galáxia com velocidades muito maiores que previstas pelas leis físicas, que igualam a força gravitacional da matéria comum, ou matéria visível, com a força centrípeta (SWART, BERTONE, Van DONGEN, 2017). Ao proceder desta forma, percebe-se que deve haver uma quantidade grande de matéria agindo gravitacionalmente no sistema, sem interagir com a luz. Com o objetivo de explicar essa discrepância, os astrônomos propuseram que a maior parte da massa das galáxias é invisível, isto é, que não se consegue ver. Passou, então, a ser denominado "matéria escura" (BERTONE, HOOPER, 2018). As observações desses astrônomos eram um indício de que as galáxias seriam formadas por dois tipos de matéria: a luminosa, ou visível, também chamada de matéria bariônica (constituída por partículas chamadas bárions, como os prótons e os nêutrons que compõem os átomos da matéria que conhecemos), e a matéria escura.

Bertone e Hooper (2018) lembram que o termo "matéria escura" possui significados muito diferentes ao longo da História da Ciência, e que há referências desde os antigos gregos; que o termo ganhou destaque na literatura contemporânea, da forma que se interpreta atualmente, a partir dos trabalhos de Zwicky, em 1933.

É de destacar que existem trabalhos (e.g., SWINBANK, 2017) que mostram que as massas das galáxias espirais próximas são dominadas pela "matéria escura" invisível, mas que, surpreendentemente, as galáxias no Universo distante parecem conter comparativamente pouco disso.

Outra forma que o impacto gravitacional da matéria escura se manifesta é em relação aos movimentos das galáxias em aglomerados de galáxias. Novamente,

esse movimento é medido e observado como muito rápido para ser contabilizado apenas pela matéria que vemos (matéria visível). Com essas manifestações somente na década de 1980, a matéria escura tornou-se uma hipótese aceita e considerada importante no interior do paradigma cosmológico. Foi exatamente nessa década e nos anos finais da década de 1970 que a Cosmologia começou a se tornar mais respeitada. Hoje se aceita que a matéria escura está disposta em uma estrutura esférica ao redor do aglomerado de galáxias, chamada de halo.



Figura 4: Halo de matéria escura ao redor do aglomerado de galáxias CL0024+17 localizado em Peixes. Fonte: <https://spacetoday.com.br/descoberto-halo-de-materia-escura/#:~:text=de%20mat%C3%A9ria%20escura%20ao%20redor%20do%20aglomerado%20de%20gal%C3%A1xias%20CL0024%2B17%20localizado%20em%20Peixes>

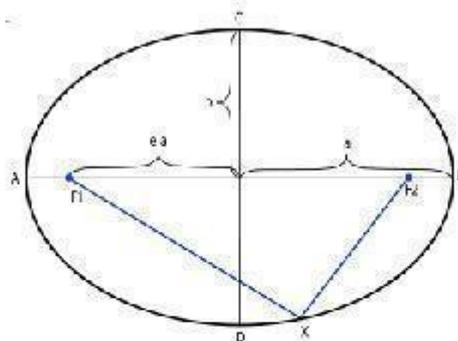
Nessa década, as instituições de pesquisa começaram a ganhar muito mais verbas para financiar investigações de Cosmologia, isso chamou muita a atenção de astrofísicos, astrônomos e físicos teóricos. Mais à frente veremos que o problema da matéria escura poderá ser resolvido por meio de uma extensão do Modelo Padrão de Física de Partículas, o que implica que a Cosmologia não está apenas focada nos céus, ela envolve inúmeras áreas da física moderna e contemporânea (PARDO, SPERGEL, 2020).

Observação sobre curvas planas: entendendo melhor a discrepância entre as velocidades observada e esperada das estrelas

Para tentar explicar a questão da massa faltante no universo podemos “exagerar” um pouco e considerar a terceira Lei de Kepler em escalas galácticas. Nesse sentido, precisamos tomar conhecimento da terceira lei de Kepler: se considerarmos estrelas em diferentes posições no raio galáctico (isto é, estrelas mais próximas e mais distantes do centro da galáxia), o esperado é que as velocidades de rotação em torno do centro da galáxia decaíam com a distância, já que no centro galáctico há uma grande quantidade de massa concentrada. Contudo, isso não é observado. Pelo contrário, são observadas velocidades “constantes” à medida que nos distanciamos no raio da galáxia espiral, como mostrado na Figura 3.

Terceira lei de Kepler

A terceira lei de Kepler estabelece que o quadrado do período de revolução de um planeta ao redor do Sol (sendo o referencial para o movimento) é proporcional ao cubo do semieixo maior da elipse que representa a órbita do planeta.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Elipse>

Mas como podemos obter essa relação?

Definimos velocidade como a taxa de variação da posição de um corpo em relação ao tempo: $v = \Delta s / \Delta t$. A aceleração é definida como a taxa de variação da velocidade em relação ao tempo: $a = \Delta v / \Delta t$. A segunda lei de Newton nos diz que força é proporcional à variação de momento linear, ou simplesmente, $F = ma$. Antes de entendermos como chegar na terceira lei de Kepler, vamos entender o porquê a força é “ma”. A quantidade de movimento, ou momento linear (p), é definido como $p = mv$ (massa vezes a velocidade). Que é muito intuitivo, pense que “é muito mais fácil parar um carro andando a uma velocidade (entendida como taxa de variação de posição em relação ao tempo) de 1 km/h do que parar uma bola de futebol a 1000 km/h”. Mesmo o carro tendo uma massa muito maior, a bola está andando com uma velocidade mil vezes maior que o carro! Ora, o momento linear da bola é muito maior que o do carro, e para se fazer parar a bola, é necessário aplicar uma força! É necessário variar o estado de movimento da bola ou do carro. Assim sendo, é necessário aplicar uma força! Se representarmos esse exercício mental de forma matemática ao definirmos momento linear como sendo $p = mv$, podemos pensar na variação do momento como sendo $\Delta p \cdot \Delta t = \Delta(mv) \Delta t$. Ora, um carro em movimento não perde massa; sua massa é considerada constante em relação ao tempo; assim reescrevemos esta relação como $\Delta p \cdot \Delta t = m \Delta(v) \Delta t$, mas como já estudamos em cinemática, definimos $\Delta v / \Delta t$ como aceleração! E assim obtemos que $\Delta p \Delta t = ma$, ou que, $F = \Delta p \cdot \Delta t$, ou simplesmente

$$F = ma \quad (1)$$

Em um movimento circular uniforme (MCU) a aceleração presente aponta para o centro da trajetória, por isso é chamada de aceleração centrípeta e não é difícil mostrar que é dada pela relação v^2/R . Assim, força em um MCU é obtida substituindo “a” por v^2/R na equação (1), de forma que obtemos $F_{cp} = mv^2/R$. Então se considerarmos que as órbitas planetárias são aproximadamente circunferências, podemos escrever (utilizando a lei da Gravitação Universal de Newton Força gravitacional = GmM/R^2) a seguinte relação

$$mv^2/R = GmM/R^2 \quad (2)$$

Em que m é a massa do planeta, M é a massa do Sol, v é o módulo da velocidade linear do planeta e R é o raio da órbita descrita pelo planeta.

Se um planeta possui um período " T " para dar uma volta completa ao redor do Sol, consideramos: $v=2\pi RT$ substituindo v desta expressão naquela de cima, obtemos: $m2\pi RT^2R=GmMR^2$, simplificando, obtemos: $T=2\pi\sqrt{GM/R^3}$. Em que definimos $k = 4\pi^2/GM$.

Podemos ver por que " k " tem, aproximadamente, o mesmo valor para todos os planetas. Porque as órbitas planetárias são, aproximadamente, circunferências e porque " k " só depende da constante universal (G) e da massa do Sol.

É de notar que existem na literatura trabalhos recentes que sugerem uma teoria da gravidade modificada sem matéria escura (TAO, 2020), ou teoria da gravidade alternativa (se tiver um grande termo "não linear" que acople modos em diferentes escalas, então a teoria preveria características não gaussianas de grande escala em estruturas de grande escala; estes modos não são vistos na distribuição das galáxias nem na distribuição dos quasares; contudo, os autores apontam que nenhuma teoria de gravidade alternativa proposta para a matéria escura parece satisfazer essas restrições (PARDO, SPERGEL, 2020)).

Outra manifestação de matéria escura é a sua impressão na radiação cósmica de fundo em micro-ondas (CMB), que foi prevista teoricamente em 1948 pelos cientistas George Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman. O objetivo de Gamow, Alpher e Herman era descrever o estado inicial do universo utilizando a física de altas energias. Em 1948 consolidaram seu trabalho propondo que o universo primordial era denso e quente, muito pequeno (uma singularidade, que ficou conhecida como *Big Bang*) e dominado pela radiação. Após isso o universo teria se expandido e esfriado. Previram também a existência de uma radiação de fundo decorrente da expansão primordial e que poderia ser observada (BARBUY, 2005). Esse conjunto de trabalhos foi ignorado por vários anos, até que em 1964 os engenheiros Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson detectaram acidentalmente uma radiação de micro-ondas, que se propaga em todas as direções e que foi interpretada como a radiação que sobrou da época do *Big Bang*. Com a detecção da Radiação Cósmica de Fundo (RCF ou CMB do inglês) a teoria de Gamow e colaboradores foi aceita e é hoje a base do modelo cosmológico (SILVA, 2017).

Compreendendo melhor o *Cosmic Microwave Background (CMB)* ou radiação de fundo

O CMB nada mais é que uma radiação que foi emitida quando o universo era jovem e ainda relativamente simples; o universo inicial era composto por um plasma quente (uma sopa de fótons, elétrons e bárions - componentes dos núcleos dos átomos, os prótons e os nêutrons) que passou por um período de "resfriamento", após aproximadamente 380 mil anos da explosão do *Big Bang*. À medida que o universo se expandia foi possível que elétrons se combinassem com os núcleos atômicos formando átomos de hidrogênio e hélio (que são os elementos químicos mais leves da tabela periódica e também os que existem em maior abundância no universo), possibilitando, dessa forma, que os fótons "viajassem" livremente pelo cosmos. O CMB, assim, nada mais é que um "fóssil" do universo, e permite observar variações das oscilações de temperatura muito importantes em pesquisas de Cosmologia.

A primeira observação experimental do CMB (*Cosmic Microwave Background*), como dito, foi feita de forma acidental por Penzias e Wilson em 1964. Rendeu-lhes o Prêmio Nobel de Física de 1978. Essa descoberta foi importante porque foi a confirmação de que o universo já esteve em um estado quente e denso e, portanto, apoiou fortemente a teoria Gamow do Big Bang. Até então, outra teoria, a do estado estacionário competia com a teoria do Big Bang sobre a origem do universo (PÖSSEL, 2020).

A detecção acidental da Radiação de Fundo: Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson

Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson não tinham como objetivo detectar o CMB, já que o estudo desenvolvido por eles tinha como finalidade abrir um novo canal de comunicação para a AT&T, que é uma companhia americana de telecomunicações. Esse novo canal tinha uma característica especial, ele teria que

ter a melhor qualidade possível, para isso a dupla de engenheiros teria que eliminar a maior parte, senão toda, de sinais poluidores causados por outras fontes. Ao medir as interferências (ruídos poluidores de sinal) de fundo em micro-ondas, eles conseguiram detectar e eliminar todas as fontes de interferência terrestre e cósmica conhecidas, entretanto, havia uma parte do sinal que eles não conseguiam eliminar. A dupla de engenheiros atribuiu a causa desse sinal imprevisto a um excesso de temperatura de antena de seu detector, nada semelhante a real causa apresentada no tópico anterior!

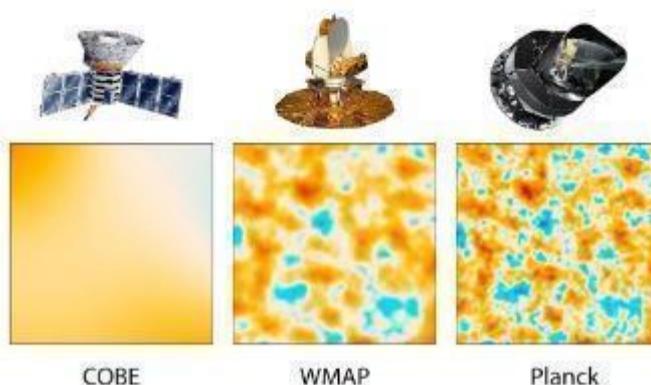


Figura 7: A figura ilustra uma comparação entre os satélites COBE, WMAP e Planck, respectivamente, em relação à precisão da medição do fundo de micro-ondas cósmico. Fonte: https://lambda.gsfc.nasa.gov/education/graphic_history/microwaves.html

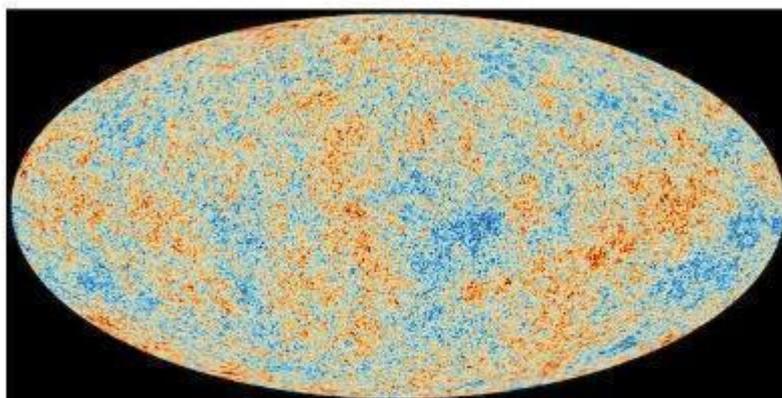


Figura 8: A figura ilustra a medição de um fundo de radiação de microondas com a melhor medição já feita, trata-se de um registro mais antigo do universo que humano já conseguiu estudar (<https://sci.esa.int/web/planck/-/60500-plancks-view-of-the-cosmic-microwave-background>)

A física do universo primordial é a interação de temperatura, densidade e pressão de quaisquer componentes que existam na época (como radiação - os fótons -, matéria comum - os elétrons e núcleos, e a matéria escura e energia escura). As equações bem conhecidas da termodinâmica e da física de partículas nos permitem calcular com muita precisão como os componentes interagem e o que devemos observar nessa radiação do Big Bang, para que os elétrons se unissem aos prótons e formassem hidrogênio e hélio. A Energia Escura (que "antigravita") teve um efeito muito pequeno nessa época, mais tarde neste texto falaremos dela.

Matéria escura

Como vimos, o modelo cosmológico mais aceito atualmente postula que logo após o *Big Bang*, o universo passou por um período de expansão muito rápida. Se a matéria escura fosse feita de átomos, igual à matéria comum, então no início do universo, ela teria sido feita de íons e elétrons e teria deixado uma marca clara no “céu” de micro-ondas (medições cosmológicas de fundo de micro-ondas - CMB), o que não ocorre. Assim, a matéria escura deve ser não-bariônica e “escura” (TAO, 2020). A maior parte do deutério foi produzida no *Big Bang* e, posteriormente, o processamento nas estrelas esgotou a abundância de deutério. Caso a matéria escura fosse matéria normal (isto é, composta de bárions), esses bárions extras teriam quebrado o deutério durante o *Big Bang* e isso se refletiria em uma abundância de deutério, que não é observada nos dias atuais. A massa ausente completamente na forma de bárions está em conflito com nossa compreensão do *Big Bang*.

Outras formas de manifestação da matéria escura: as Lentes Gravitacionais

A gravidade é um aspecto fundamental quando desejamos investigar a natureza da matéria escura. Assim como as galáxias possuem matéria escura, os aglomerados de galáxias também possuem. Os cosmólogos consideram que existem aglomerados e superaglomerados gigantes com muita matéria escura no seu interior. Em função disso é que se forma o fenômeno das lentes gravitacionais, isto é, onde a luz se “curva” quando passa por zonas com muita massa. A deflexão, ou curvatura, da luz em torno de um objeto celeste de massa muito grande a uma longa distância pode ser mais bem entendida examinando a Figura 9: as linhas brancas representam o caminho da luz de uma fonte muito distante chegando até nós, observadores da Terra; as linhas laranja representam as posições aparentes do objeto percebida por um observador na Terra. Assim, as lentes gravitacionais são a manifestação de uma distorção no espaço-tempo causada por uma grande quantidade de massa entre uma fonte de luz até chegar aos nossos telescópios. Ao curvar o espaço-tempo, desvia o caminho da luz proveniente de galáxias e aglomerados distantes. Este fenômeno foi previsto por Albert Einstein na Teoria da Relatividade Geral (SILVA, 2017).

Albert Einstein calculou, em 1915, quando trabalhava no processo de conclusão da Teoria da Relatividade Geral, o valor esperado para a curvatura de luz quando esta passa próximo de corpos massivos, como o nosso Sol, por exemplo. Em palavras simples, todo os corpos, pelo fato de terem massa exercem força gravitacional (isto fora proposto por Issac Newton); contudo, a força gravitacional exercida por um corpo de grande massa, como o Sol, as galáxias e os buracos negros, distorcem o espaço-tempo fazendo com que a luz e outras partículas realizem um movimento curvilíneo na sua proximidade.

As primeiras observações da deflexão da luz foram realizadas observando a posição das estrelas mudando à medida que passavam perto do Sol na esfera celeste; tais observações foram realizadas em 1919 por Arthur Eddington, Frank Watson Dyson e outros membros da equipe durante o eclipse solar total em 29 de maio daquele ano, feitas de forma simultânea nas cidades de Sobral, Ceará, Brasil e nas Ilhas de São Tomé e Príncipe. Essas observações corroboraram experimentalmente a Teoria Geral da Relatividade.

Os astrofísicos e astrônomos acreditam que o fenômeno das lentes gravitacionais é uma poderosa ferramenta para “pesar” a matéria escura em locais onde há grande concentração dela, medindo a distorção por ela causada; as lentes gravitacionais não seriam apenas mais uma maravilha que o universo nos pode apresentar, mas são estudadas atualmente como sendo capazes de servir como “lupas cósmicas”, isto é, seriam capazes de aumentar o brilho e tamanho de objetos muito distantes e que datam dos primórdios do universo (DIAS, 2022). Assim, com o auxílio de equipamentos modernos e grandes telescópios será possível fazer descobertas impressionantes (BRUMFIEL, 2003).

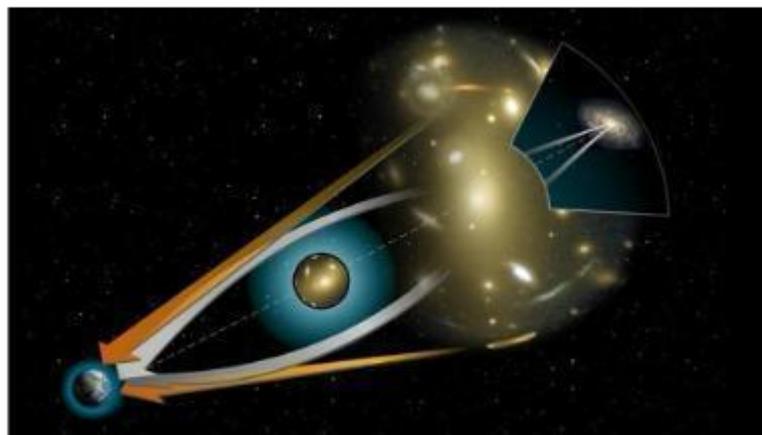


Figura 9: Representação de lentes gravitacionais.
Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lente_gravitacional#/media/Ficheiro:Gravitational_lens-full.jpg

Colisão de Clusters

Recentemente podemos observar através da colisão de clusters de galáxias que a matéria visível e invisível (escura) se separam ao se colidirem, na sequência é mostrada uma figura desta colisão (BRASSALO, 2011).

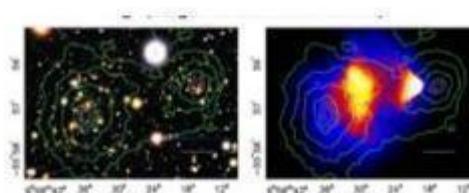


Figura 10: Na imagem da esquerda pode ser observado que os contornos de massa são sobrepostos na distribuição das galáxias, enquanto esses contornos de massa são sobrepostos à emissão de raios-X do gás quente na figura da direita. Como já foi dito, a matéria escura não interage com a matéria comum, exceto pela gravidade, assim ela passou suavemente na colisão. Contudo, o gás intergaláctico foi um pouco "freado" pela "resistência" causada pela pressão da matéria escura e, assim, o gás fica atrás da matéria escura.

Fonte : Davis (2014)

A matéria escura não é um gás, embora, atualmente, esta hipótese pareça um tanto absurda. Em resumo, como mostra a Figura 2, observa-se que a matéria

visível e a matéria escura se separam em aglomerados de galáxias que se fundem, de forma que apenas 15% da matéria é visível, ao passo que o equivalente a 85% da matéria do aglomerado é matéria escura.

Tentativas de explicação da matéria escura

Como vimos, a matéria escura não é gás e pelas observações da radiação de fundo, o *CMB*, não seria uma "matéria comum". Para explicá-las, surgiram até hipóteses como a *Teoria de Bird* em que a matéria escura poderia ser composta por buracos negros supermassivos (HECHT, 2016). Porém, outros cientistas, ao observarem estrelas e o número necessário de massa para a formação destes buracos negros do universo primordial, concluíram que não! Os buracos negros podem corresponder a uma pequena fração de matéria escura, mas não a toda! Isto seria impossível. Também, em 1958, o astrofísico Viktor Ambartsumian propôs uma explicação que era diferente da hipótese de Zwicky de matéria escura desconhecida. Ambartsumian argumentou que as discrepâncias observadas eram devidas à ausência de "equilíbrio dinâmico" nos grupos e aglomerados de galáxias. Significava que as galáxias estavam se "separando" rapidamente, causando dados "estranhos". No entanto, se grupos e aglomerados de galáxias fossem de fato instáveis, eles não durariam mais do que 10 a 1000 milhões de anos, o que foi considerado muito curto em comparação com a escala de tempo do universo. A maioria dos aglomerados já deveria ter sido dissolvida em tal cenário, em conflito com ao que se observa.

Assim no próximo bloco serão apresentadas algumas partículas hipotéticas que poderiam ser matéria escura.

Porém, é importante notar que esses "erros" como a hipótese dos buracos negros, de certa forma são positivos. Por meio destes modelos podemos estudar com mais detalhes as estruturas do universo para talvez refutar tal hipótese. Isto se dá porque a Ciência, a Física em particular, tem essa natureza tentativa e hipotética; uma vez postas as hipóteses, a comunidade científica daquela área se debruça em tentar corroborá-las de forma experimental e cuidadosa, planejando experimentos ou empreendendo a busca de evidências, quando uma teoria é refutada experimentalmente ou teoricamente, há crescimento da ciência porque os cientistas aprofundam seus conhecimentos na construção da ciência.

Como defende Bachelard, o erro não é fruto da imperícia dos cientistas, ao contrário, a retificação do erro permite reconstruir o pensamento científico, que deve permanentemente se questionar, desiludir-se com o conhecimento existente. Essa é uma via profícua para romper a estagnação, para se abrir ao novo.

A maior elegância da Cosmologia é o fato dela envolver pesquisas de vários "Campos" da Física. Foi só com o avanço da física teórica, em especial da Física de Partículas, que surgiram dois modelos potenciais para as partículas de matéria escura. São eles os WIMPS e os Axions.

Antes, porém, é oportuno explicar que a matéria escura só se manifesta gravitacionalmente porque ela não possui carga, logo não interage com nenhuma força eletromagnética. O mesmo vale para as outras forças fundamentais, como nuclear forte e fraca. Assim, a única forma de detectar "matéria escura" é por meio da colisão com átomos de matéria "comum".

Hoje sabemos que a proporção de "matéria escura" presente no universo em relação à matéria comum é de 5 para 1. Mas vejamos, que se a matéria comum é responsável por cerca de 5 % da constituição do universo e a matéria escura cerca de 25%: O que seria o resto? Esta pergunta pode ser respondida com a "descoberta" da "energia escura", que falaremos mais à frente.

WIMPS

Os WIMPS (abreviatura do inglês *Weakly interacting massive particles* - WIMP) vêm de um conceito da Física de Partículas chamado *supersimetria* (é uma extensão do Modelo Padrão da Física de Partículas), o qual diz que cada partícula conhecida tem um "super parceiro" mais massivo. O modelo que propõe os WIMPS mais leves "possíveis" espera que seja uma partícula estável, sem carga (neutra), que dificilmente interage com a matéria normal (ou interage muito fracamente com outras formas de matéria) (TAO, 2020). É algo muito esperado para ser matéria escura (CONRAD, 2017).

A supersimetria prediz que as partículas devem ser centenas de vezes mais massivas que um próton, e isso é principalmente o tipo de partículas que os físicos têm procurado, e que os levam a desenvolver detectores muito sensíveis no espaço,

na Terra e em laboratórios subterrâneos (TAO, 2020). Porém, ainda não foi possível detectá-las.

A detecção de Wimps é um dos principais objetivos do Grande Colisor de Hádrons (LHC) no CERN, um grande laboratório fundado como um consórcio de países europeus perto de Genebra, entre Suíça e França. Cálculos teóricos indicam que o LHC pode criar partículas candidatas de matéria escura, o que ajudaria a restringir os modelos dos cosmologistas (CONRAD, 2017).

Experimentos e observações (detecção direta)

Os WIMPS podem ser detectados por meio de recuos nucleares. Os núcleos-alvo dos átomos em alguns desses experimentos estão localizados em cristais metálicos; quando uma partícula de massa escura colide ocorre recuo do núcleo do átomo e isto resulta na emissão de luz que é, então, detectada em um detector (LIU, CHEN, JI, 2017). A grande dificuldade encontrada pelos físicos nesses experimentos é distinguir uma detecção de matéria escura na multidão de fundos de radiação terrestre “captadas” pelo aparelho (TAIO, 2020). Por isso, como anteriormente foi falado, os experimentos subterrâneos são tão importantes, pois buscam evitar essa “distração”, ou seja, o ruído de fundo (CONRAD, 2017).

Os núcleos-alvo para a colisão são elementos como o argônio, o xenônio ou o iodeto de sódio que são resfriados, no experimento, até quase a temperatura de zero absoluto para facilitar a localização de pequenas quantidades de energia transferidas da matéria escura para a matéria comum (LIU, CHEN, JI, 2017). E esse tipo de detecção é chamado de “detecção direta”. Difere de outros como as formas indiretas de detecção de matéria escura, que é quando os “resultados” de aniquilações destas partículas são investigados pelos cientistas. Como explicado na Introdução deste texto, existem no Polo Sul terrestre detectores de neutrinos provenientes dessas aniquilações no Sol.

DAMA (Gran Sasso Dark Matter)

Há um grupo de pesquisadores que afirma ter detectado várias vezes partículas de matéria escura, inclusive, há quase 30 anos. Porém, este grupo italiano, o DAMA, utiliza um método um pouco incomum para a maioria dos experimentos espalhados ao redor do mundo. Ao invés de ser eliminado o ruído de fundo do experimento (colocando de uma forma bem simples este, fundo seria aquele causado por interações e interferências que não são de matéria escura), os pesquisadores contam tudo e procuram variações anuais dos cristais de iodeto de sódio utilizados nos experimentos (HEGTH, 2016).

Observação sobre as possíveis fontes de fundo (aprofundando o conteúdo)

As principais fontes de ruído de fundo para esses experimentos são impurezas de rádio nos materiais de construção do detector, nêutrons, reações de fissão, raios cósmicos e seus secundários (BERNAL, NECIB, SLATYER, 2016). Há muito mais causas para as "impurezas" observadas no experimento, mas com o objetivo de abordar de uma forma mais simples resolvemos trazer apenas estas.

CDMS

A 713 metros abaixo da mina Soudan, o CDMS compreende discos de germânio ou silício resfriados quase ao zero absoluto. O principal objetivo do CDMS é procurar um núcleo recuando de uma colisão com um WIMP; os pesquisadores monitoram cada disco para um pulso de eletricidade combinado com um pulso de calor. Os resultados do CDMS sugerem que os WIMPs são cerca de oito vezes mais massivos que a prótons, diferente do que as teorias geralmente previam.

AXIONS

Esta hipótese é de uma partícula elementar para explicar algumas das simetrias das interações fortes que ligam quarks, que são os componentes mais elementares dos prótons e nêutrons. Os axions podem, na presença de um grande

de lançamento era para o ano de 2011, mas o projeto passou por vários desafios principalmente os de engenharia (por exemplo o tamanho das lentes que tiveram que ser dobráveis para caber no ônibus espacial), de forma que esse poderoso satélite possui um formato "triangular" e se abriu no espaço. Ele foi lançado no Natal de 2021, foi um presente para os admiradores do céu! Houve uma estimativa de 10 bilhões de dólares envolvidos nesse projeto!

Outros artigos (e.g., VAN DOKKUM et al., 2018) comentam a possibilidade de serem estudados novos exoplanetas (planetas fora do nosso sistema solar, na maioria das vezes detectados dentro da Via Láctea, mas há a possibilidade de serem detectados fora dela, inclusive já temos conhecimento de um exoplaneta intergaláctico!

Faixas grandes de frequência (da luz) tendem a sofrer mais interferência de partículas de poeira, pois apesar do Universo ser imenso, pequenas partículas no caminho da radiação podem contribuir para obtenção de imagens pouco nítidas. Devido ao *redshift*, e devido ao poder de penetração que essa radiação possui em atravessar nuvens de poeira cósmica e galáxias. Os cientistas, então, incorporaram detectores de luz infravermelha no JWST, e é por isso que ele tem potencial para nos mostrar informações muito além de nossos olhos, permitindo ao James Webb observar objetos mais obscuros e frios. Ele irá nos permitir determinar como e por que nuvens de poeira e gás colapsam em estrelas ou tornam-se planetas gigantes gasosos ou anãs marrons, conhecidos como ciclos estelares. Sua excelente sensibilidade permitirá aos astrônomos investigar diretamente os primeiros estágios do nascimento das estrelas, poderemos estudar também as explosões de supernova. O JWST será o principal observatório em IR das próximas décadas. Ele estudará todas as fases da história do nosso Universo, desde os primeiros brilhos luminosos após o *Big Bang*, até a formação de sistemas solares capazes de sustentar a vida em planetas como a Terra (VAN DUKKON et al., 2018).

Em resumo, o satélite Webb está nos permitindo observar grandes objetos astrofísicos e muito distantes, como também entender melhor a própria evolução cósmica! Veja-se que entender como o universo evoluiu está intrinsecamente ligado com os temas "matéria escura" e "energia escura".

Matéria escura e os Dinossauros

Neste fascinante tópico abordaremos discussões trazidas por Lisa Randall em seu livro intitulado “*O universo invisível: Matéria escura, dinossauros e a surpreendente conectividade do mundo*” (RANDALL, 2022), como também um pouco de suas pesquisas envolvendo a matéria escura. Randall é uma importante física teórica para os estudos de matéria escura. Ela estuda física de partículas e cosmologia atualmente na Universidade de Harvard, onde ela ocupa o cargo de professora de Física Teórica.

Como justificativa para sua hipótese no livro Randall diz:

Embora tanto a matéria escura quanto os dinossauros sejam, cada um, fascinantes por si sós, é sensato supor que essa substância física invisível e os famosos ícones da biologia não possuem relação alguma. E pode ser que não tenham. Mas o universo, por definição, é uma entidade única e, por princípio, seus componentes interagem. Este livro trata de uma conjuntura especulativa na qual meus colaboradores e eu sugerimos que a matéria escura pode ter sido (por via indireta) responsável pela extinção dos dinossauros. (RANDALL, 2022, p.1 – Introdução)

Em lugar de um objeto que teria vindo do espaço (supostamente um cometa) há 66 milhões de anos e despencado na Terra aniquilando os dinossauros terrestres...

O que propomos é que, durante a passagem do Sol pelo plano fundamental da Via Láctea – a faixa de estrelas e pó reluzente que você consegue enxergar em noites claras -, o sistema solar topou com um disco de matéria escura que deslocou o objeto distante e assim precipitou o impacto cataclísmico. Na nossa vizinhança galáctica, o grosso da matéria escura nos cerca em um halo esférico gigantesco, suave e difuso. (RANDALL, *idem.*, p. 2)

Matéria escura interagente

Antes de falarmos da impressionante hipótese que envolve a “misteriosa matéria escura” na história da vida em nosso planeta, precisamos comentar uma outra hipótese, que não deixa de ser fascinante concomitantemente com a deste subtítulo. Quando abordamos “matéria escura”, geralmente, concentramos todas as nossas atenções na sua força gravitacional. No entanto, existem físicos que tentam projetar um modelo padrão (como o já existente para a matéria bariônica) para a

matéria escura; assim, para eles, as partículas de matéria escura poderiam ter interações entre elas mesmas, chamaremos essas partículas de matéria escura interagente (PARDO, SPERGEL, 2020).

Para Randall (2018), pode, ainda, existir uma alternativa muito simples, que consiste na possibilidade de que quase toda a matéria escura não interage, e que uma pequena fração talvez interaja com ela mesma (matéria escura parcialmente interagente). A maioria das pessoas espera que um novo tipo de matéria escura seja irrelevante para a maior parte dos fenômenos mensuráveis se o componente extra constituir apenas uma pequena fração do estoque de matéria escura. Podemos fazer uma analogia com o nosso modelo padrão para com o de matéria escura, e pensar que, talvez, possa existir forças escuras não correspondentes a interação gravitacional, como por exemplo um eletromagnetismo escuro.

A matéria escura parcialmente interagente sem dúvida rende terreno fértil para especulações. Existem múltiplas linhas de evidências que atribuem uma causa para a extinção K-Pg de 66 milhões de anos atrás. Sendo que uma delas traz a matéria escura que como responsável pela grande extinção dos dinossauros. Um disco de matéria escura poderia afetar o movimento das estrelas, a constituição de galáxias anãs e o resultado dos experimentos e observações em laboratórios e no espaço!

Impactos de cometas

Os cientistas perceberam que existe certa periodicidade para impactos de cometas à Terra. No entanto existe uma pergunta em aberto: o que causa esta periodicidade? Explicações "convencionais" não funcionam, isto é, diversas teorias criadas para explicar a causa da periodicidade dos impactos dos cometas, como os que causaram a extinção dos dinossauros, não obtiveram êxito.

Poderíamos responder a questão da periodicidade culpando a força gravitacional causada pela matéria comum da nossa galáxia, mas os efeitos de maré da galáxia são muito suaves e as perturbações das estrelas são muito infrequentes, sendo o efeito de maré causado pela matéria comum (por um disco-padrão) insuficientes para desencadear chuvas de cometas frequentes ou notáveis.

Por exemplo: tendo apenas matéria normal no disco para influenciar seu movimento, o período de oscilação vertical do Sol estaria mais entre 50 milhões e 60 milhões de anos- tempo demais para ser consistente com os dados disponíveis.

Isso deixou duas conclusões possíveis: ou a periodicidade prevista pelos cientistas não é real, como pode ser o caso, ou a alternativa lógica mais interessante está correta e o desencadeador foge do convencional. Descartando as sugestões anteriores, fez sentido questionar se a proposta de disco escuro poderia ter êxito quando a matéria comum por si só não conseguiu e fazer valer a periodicidade requerida e mudar seu ritmo.

Na verdade, o disco escuro tem apenas as propriedades necessárias para tratar das inadequações do disco de matéria normal. Com um disco fino de matéria escura densa, a força de maré do disco pode dar conta o suficiente tanto do período quanto da delimitação temporal das perturbações na Nuvem de Oort.

Como objetos (os cometas) vêm da Nuvem de Oort até nós?

É importante considerar que, ao longo de sua existência, objetos da Nuvem de Oort estão sujeitos à força de maré do disco a partir da matéria comum e da pontual influência, mais intermitente, mesmo assim importante, de estrelas passantes. Esses efeitos servem para movimentar os corpos distantes, de ligação gravitacional relativamente fraca da Nuvem de Oort, e os empurra para mais perto do Sol. O efeito de maré do plano da Via Láctea pode aí dar o último empurrão que colocaria esses corpos gelados em órbitas precárias, muito excêntricas, que se salientam para dentro a cerca de dez vezes a distância Sol-Terra, onde a atração gravitacional dos planetas grandes provavelmente vai removê-los da nuvem de Oort.

Essa atração ou vai lançar esses cometas para fora do sistema solar ou puxá-los de tal forma que eles entrarão em órbitas firmemente atreladas no sistema solar interior. Essas perturbações explicam a geração de cometas de longo período, e vários novos adentram o sistema solar todo ano. Vez por outra, contudo, objetos perturbados são desviados por completo de suas órbitas, e é nessas ocasiões que cometas extraviados podem atingir nosso planeta.

Mais problemas com a "periodicidade"

Porém, esse tipo de perturbação não é suficiente para explicar impactos periódicos. Para que estes aconteçam, é preciso que ocorra, a intervalos regulares, uma mudança rápida no ritmo de perturbações na Nuvem de Oort. Além do mais, para ser consistente com as provas disponíveis, o período deve estar na gama dos 30 milhões a 35 milhões de anos. Se mesmo um desses critérios não der certo, uma explicação proposta para impactos periódicos de meteoroides não basta. E nenhum dos critérios se satisfaz com qualquer sugestão convencional.

O disco escuro

Contudo, o acréscimo do disco escuro mais denso e mais estreito resolve essas duas questões de maneira excelente. Assim que você aceita a realidade possível de impactos periódicos de meteoroides, um disco escuro é de fato uma ideia muito promissora. Ele exerce uma influência que é tanto mais intensa e de variação mais veloz no tempo do que o disco convencional do plano galáctico das duas exigências essenciais para criar picos na intensidade de cometas.

Com o disco escuro incluído no plano da Via Láctea, o período de oscilação vertical do Sol seria mais curto que o período induzido pelo disco da Via Láctea convencional por si só porque a atração gravitacional com o acréscimo da matéria do disco escuro é mais forte. Em cima disso, conforme a uma gama de determinações atuais de densidade da matéria, o sistema solar oscila apenas por volta de setenta Parsecs acima e abaixo do plano galáctico, muito mais limitada do que a espessura do disco completo de matéria comum. O disco escuro estreito, que assim englobaria o sistema solar ao longo de uma fração razoavelmente maior de sua trajetória, pode ter uma influência desproporcionalmente maior no movimento do sistema solar conforme ele sobe e desce pelo plano.

O outro mérito para um disco escuro fino não é, mesmo assim, o sistema solar poder passar por ele rápido o suficiente para induzir um pico no ritmo de cometas que dura 1 milhão de anos ou mais. Por conta de sua influência delimitada no tempo, o disco escuro desencadeia mais perturbações toda vez que o sistema

solar cruza o plano galáctico, criando chuvas de cometas com frequência regular durante cada cruzamento com o plano - que de outra forma seriam desencadeadas apenas de forma muito infrequente por estrelas em aproximação. O efeito de maré incrementado se dá quando o sistema solar cruza a região estreita ocupada pelo disco escuro. É só durante essa passagem, e talvez no período entre 1 milhão e 2 milhões de anos que se segue, que impactos de cometas seriam ampliados.

Quando o sistema solar passa pelo disco na escala temporal e está sujeito a uma força de maré ampliada -um pico na força, caso aconteça com a devida rapidez, corpos gelados na nuvem de Oort podem ser deslocados e alguns podem até vir a se chocar com nosso planeta a mais ou menos cinquenta quilômetros por segundo. Uma vez saindo da rota dessa maneira, a viagem é rápida -talvez alguns milhares de anos.

Incertezas e erros

Outros fatores também contribuem para a incerteza quanto ao período exato previsto para o incremento de chuvas de cometas. O sistema solar leva cerca de 1 milhão de anos para cruzar o plano galáctico - mais tempo se o disco for mais espesso. Além do mais, um período de tempo de até alguns milhões de anos pode separar o evento desencadeador inicial do impacto efetivo do meteoróide na Terra. Em terceiro lugar, o registro de crateras e precisão de datação são fracos. Encontrar mais crateras ou dotá-las com uma precisão seria de grande ajuda, embora novas descobertas dessas estruturas emergem sem grande frequência. Não só as crateras como a poeira presa em rochas também podem ajudar a gerar um registro mais exato de quando os cometas caem.

É claro que não precisamos nos aprofundar no passado para verificar a influência da matéria escura. Se ela possuir de fato um componente interagente que muda a estrutura da distribuição de matéria no universo, logo ficaremos sabendo talvez até antes de outra das suas buscas render frutos. Só uma gama limitada de densidades do disco escuro pode explicar os dados de crateras. É quase certo que medições futuras vão estreitar a gama de previsões possíveis, validando ou excluindo nossa proposta.

Energia escura

Estudos a partir da observação de supernovas

A ideia de um universo em expansão de forma acelerada não é muito antiga, data do ano de 1998, com estudos envolvendo supernovas. Um grupo de astrônomos liderados por Perlmutter e uma segunda equipe liderada por Brian Schmidt, do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley e do *High-z Supernova Search Team*, mediram a distância da Terra até estrelas em explosão (supernovas do tipo Ia, que é uma categoria especial de supernovas caracterizada por possuir um pico bem definido de luminosidade ao explodirem) (BASSALO, 2012). Estas características tornam as supernovas [do tipo Ia] objetos astronômicos interessantes, pois permitem medir distâncias, já que se conhecem suas luminosidades absolutas. seu espectro é caracterizado pela emissão dos elementos: cálcio, enxofre e silício durante a fase de pico de luminosidade e ausências das linhas de hidrogênio, uma vez que, esgotaram toda sua reserva deste elemento durante sua evolução (RIBEIRO, 2013). Uma vez que as condições iniciais são bem homogêneas para esta classe de supernovas, elas podem ser boas candidatas a velas padrão, uma espécie de parâmetro para calcular distâncias cósmicas até as galáxias nas quais explodem, até os cantos mais distante do universo (TYSON, 2017). Como todas as supernovas deste tipo possuem a mesma potência, as mais fracas estão mais distantes e as mais brilhantes estão próximas. Então, pela medida do seu brilho podemos nos informar a qual distância essas supernovas estão de nós e uma das outras.



Figura 13: imagem de supernova.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Estrela_bin%C3%A1ria#/media/Ficheiro:Albireo.jpg

As equipes de Perlmutter e Brian Schmidt primeiro mediram a cor da luz emitida pelas explosões das supernovas do tipo Ia, que é praticamente a "explosão" de estrelas em "estado binário", isto é, são estrelas de baixa massa ligadas gravitacionalmente onde há troca de "massa" da maior para menor; quando essa menor atinge um número de massa aproximado 1,44 massas solares (1,44 vezes a massa do nosso Sol) o sistema entra em colapso e causa uma grande explosão. Essa explosão é chamada de supernova. Na maioria dos casos, quanto mais longe um objeto estiver, mais vermelho ele aparecerá. Este "desvio para o vermelho" (conhecido como *redshift*) é a medida mais comum de distância usada na astronomia moderna.

Assim, puderam inferir a distância até nós de cada uma das supernovas, medindo o quão brilhante as explosões aparecem, ou seja, usando o fato de que uma diminuição da luminosidade aparente deve ser advinda apenas de um aumento da distância relativa entre a fonte e o observador. As equipes de Perlmutter e Schmidt descobriram que as medições de brilho colocaram as explosões mais longe da Terra do que as leituras de *redshift*. Assim, a conclusão foi que algo totalmente novo para a nossa física, e totalmente misterioso, está expandindo o cosmos de uma forma acelerada (ao contrário do que se esperaria, que ocorresse de forma desacelerada). Esta foi uma das grandes "descobertas" dos últimos anos na Cosmologia; mostra que, aparentemente, a gravidade não consegue atrair e frear a matéria em longa escala após a expansão primordial do Big Bang; parece existir um tipo de energia que está distribuída em todo o espaço e que tende a acelerar a expansão do universo. Esta energia responsável pela expansão foi chamada de "energia escura" (CALDWELL, KAMIONKOWSKI, 2009).

Efeito da energia escura. Princípio cosmológico. Geometria do universo

Embora não tenhamos ainda um modelo para descrever a energia escura, podemos pensar que o "espaço" entre as galáxias está expandido; não é que nós estejamos nos afastando das outras grandes estruturas do universo, mas o espaço entre nós sim. Isto tem a ver com o "princípio cosmológico da homogeneidade e da isotropia espacial". Isotropia tem a ver com noção de que se observássemos o universo como observadores em diferentes galáxias estaríamos "vendo" a mesma

visão do universo; de qualquer galáxia poderíamos assumir a posição de um "centro". É importantíssimo frisar que não há nenhum centro no universo! Justamente em função do princípio cosmológico anteriormente citado. É notável que tal concepção de haver algum centro no universo é comumente levantada por alunos de diferentes lugares, e isto foi relatado inclusive em uma pesquisa efetuada com estudantes de diferentes escolas na Alemanha (PÖSSEL, 2020).

Assume-se, então, que o espaço entre as galáxias está se expandindo, como se a "energia escura" não acabasse, ela se mantém constante em função do tempo. Como explicar isto?

Como sabemos, a gravidade decorrente da matéria ordinária, ou visível (prótons, fótons, elétrons etc.) é atrativa e, portanto, tende a desacelerar a expansão do universo. É necessária, então, alguma outra força com propriedades diferentes das usuais para explicar a expansão acelerada. É aqui que surge a primeira candidata: a constante cosmológica introduzida por Albert Einstein em seu primeiro modelo cosmológico (CHO, 2013). Segundo o modelo, uma parte da equação da Relatividade Geral descreve como a gravidade atrai e, a outra parte carrega um termo, a constante cosmológica, que serve para repelir, na mesma proporção, o que a gravidade atrai. Isso faz com que o universo permaneça estático, como previa Einstein. Temos então que explicar como a constante cosmológica poderia gerar uma expansão acelerada? Utilizando a teoria de Isaac Newton da gravitação universal, a massa é a característica dos corpos que é fonte de gravidade; como a massa é sempre positiva, a força gravitacional é sempre atrativa. No caso de um fluido, o limite da teoria newtoniana para valer quando a pressão é relativamente alta. Para estes casos, não mais podemos usar a Teoria de Newton; é necessário utilizar a Teoria da Relatividade Geral, onde também a energia é fonte de gravidade. Então, se existir uma matéria que exerça uma pressão suficientemente negativa, sua massa efetiva será negativa e ela gerará repulsão gravitacional. É importante lembrar que esta é uma hipótese "candidata" para explicar a expansão acelerada do universo, já que as pesquisas estão em curso, e não há ainda um consenso entre os cientistas.

Outra questão importante para a investigação da natureza da energia escura é a energia do vácuo. Quando pensamos em vácuo imaginamos um vazio absoluto, ou seja, sem presença de matéria ou energia ali. Entretanto, para os físicos, o vácuo representa o estado de mínima energia de um sistema. Aqui precisamos recorrer à

Teoria Quântica de Campos, pois ela prevê que até mesmo na ausência total de matéria o espaço não pode ser considerado totalmente vazio; há pares de partículas e antipartículas virtuais que estão sendo formadas e aniquiladas o tempo todo. A este processo os físicos chamam de flutuações quânticas no vácuo. As flutuações quânticas contribuem com a existência de uma energia até mesmo onde "não há matéria".

Embora a energia quântica do vácuo não afete nossas vidas, no âmbito da Relatividade Geral, ela pode ser muito importante porque toda a energia contribui gravitacionalmente, inclusive a do vácuo. É neste âmbito da Teoria da Relatividade Geral que a energia do vácuo assume um significado.

De todo modo, é fundamental reforçar que a natureza da matéria e energia escuras ainda é objeto de investigação (Dias (2022)), e representa um dos maiores desafios da física e astrofísica atualmente. Existem alguns candidatos à "matéria escura", como adiante abordaremos, mas os dados observacionais e teóricos ainda não são capazes de apontar quais modelos se destacam e devem ser levados em conta frente aos outros. Possivelmente envolverão explicações que podem mudar nossa forma de ver o mundo.

Ainda se discute sobre ser a matéria escura "fria" (BIANCHI, ROVELLI, KOLB, 2010). No modelo padrão a matéria escura é dita fria pois se supõe que suas partículas devem se mover com velocidades relativamente baixas, isto é, não são velocidades próximas às da luz [assim "frio/quente" designa partículas não relativísticas *versus* relativísticas (TAO, 2020)]; além disso são eletricamente neutras e estáveis em escalas cosmológicas. Existem pesquisas em andamento que simulam se o modelo se aproxima e descreve bem nosso universo. Caso a matéria escura seja "morna" ou "quente", suas partículas adquirem velocidades muito grandes e não seria possível formar estruturas como as que conhecemos, em que galáxias se organizam em grandes filamentos ao longo do universo, criando a teia cósmica, tendendo a se agrupar. Enquanto o universo se expande de forma acelerada as estrelas "morrem" e as galáxias ficarão mais frias, pois a taxa de "nascimento" de estrelas irá decair (sabemos que o universo já passou por um "pico" de nascimento de estrelas, há alguns bilhões de anos); os cientistas notaram que agora, do ponto de vista cosmológico, nascem muito menos estrelas do que antes; é comum estas se formarem por meio do material quente dos discos das

galáxias ou, a partir da morte de outras estrelas. Por fim o universo será totalmente escuro e frio.

Em síntese, podemos pensar que a energia escura possui três características principais:

- Apresenta pressão negativa
- Não emite radiação eletromagnética
- É homogênea e não se manifesta nas escalas dos aglomerados de galáxias

No que se refere à distribuição da matéria no Universo, o nosso conhecimento atual vem dos catálogos de galáxias. O SDSS (Sloan Digital Sky Survey) está coletando espectros de mais de três milhões objetos astronômicos. Outro projeto atual é o DES (Dark Energy Survey), dedicado especialmente ao problema de energia escura que já monitorou 300 milhões de galáxias. O projeto DESI (*Dark Energy Spectroscopic Instrument*) visa medir posições e velocidades de 40 milhões galáxias.

A hipótese da Expansão do universo: como surgiu?

Historicamente a “descoberta” de um universo em expansão é atribuída a Edwin Powell Hubble (LIMA, SANTOS, 2018). É interessante notar que diferentes autores (e.g., HECHT, 2016) atribuem a descoberta da expansão cósmica a vários cientistas e até dão palpites de possíveis nomes para a “Lei de Hubble”, como, por exemplo, “lei de Hubble-Lemaitre-Slipher-al-Khwarizmi”.

Hubble, em 1923, observou uma estrela cefeida em uma nuvem espiral (Andrômeda), fazendo uso do trabalho de Henrietta Swan Leavitt, uma das “mulheres calculadoras” de Harvard, que relacionou o período de oscilação de luminosidade dessas estrelas com a sua luminosidade absoluta. Tendo uma estimativa da luminosidade absoluta da estrela e sabendo que a luminosidade cai com o inverso do quadrado da distância, Hubble foi capaz de estimar a distância da estrela a Terra; com isso obteve que a estrela estava muito mais distante do que se imaginava; e que a nuvem espiral era, na verdade, uma galáxia. Após tomar conhecimento das galáxias, em 1929, Hubble fez uso dos trabalhos de Vesto Slipher

e Milton Salle Humason, que haviam estudado 40 diferentes galáxias e obtiveram que todas se afastavam da Terra, e calculou uma relação linear entre o desvio para o vermelho e a distância da galáxia ao observado (LIMA, SANTOS, 2018). Esta ficou conhecida como Lei de Hubble-Lemaître; os cenários apontavam para um dado fundamental: a velocidade de recuo das galáxias aumentava ao mesmo tempo que suas distâncias da Terra (BRUMFIEL, 2003).

O padre e físico belga, Lemaître, deduziu as equações de Einstein para um universo em expansão. Em 1927 ele publicou em uma revista belga (*Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*), seu trabalho, em que era feito um cálculo preliminar da constante de expansão (a futura constante de Hubble), utilizando dados observacionais de velocidade e distância existentes na época (BARBUY, 2005).

A relação empírica entre desvio para o vermelho (*redshift*) e magnitude aparente é um fato observacional. Isto é o que diz respeito ao trabalho de Hubble. O trabalho de Lemaître está relacionado com a relação teórica entre velocidade de recessão (em relação a nós) e distância (HORVATH, 2020). A relação empírica está estabelecida em bases firmes, enquanto a relação teórica ainda é uma afirmação hipotética (HECHT, 2016).

Há uma grande discussão na literatura do porquê Lemaître não foi considerado o descobridor da "Lei de Hubble", muitos autores como (SOARES, 2013; HECHT, 2016) comentam que a revista em que Lemaître publicou seu artigo era "pouco conhecida", na época, e de pouca relevância, mas uma visão mais complexa foi trazida por Soares (2013), ao analisar os "bastidores" dos astrônomos: por ter muita vontade de pertencer aos quadros da *Royal Astronomical Society*, Lemaître evitou possuir algum conflito com Hubble. Também é comentado que Lemaître desprezou a importância da fenomenologia expressa na lei e por esse motivo não recebe qualquer crédito em sua nomeação.

Pesquisadores (e.g., HORVATH, 2020; BRUMFIEL, 2003) fizeram análises dos artigos de Hubble, abordando sua interpretação em relação à interpretação de seus dados. É comum a afirmação de que Hubble fez em seu artigo interpretações cosmológicas muito cautelosas, insinuando a possibilidade de que o resultado de sua pesquisa tivesse relação com o modelo de universo estático. Hubble demonstrou uma preferência pela ideia de um universo estático e pela explicação

dos desvios espectrais para o vermelho que ficou conhecida como "luz cansada", formulada pelo astrônomo suíço o Fritz Zwicky. Podemos comparar esse "paradigma da luz cansada" com a Teoria de Bird, algo muito estranho para o nosso entendimento de física;

Os mesmos autores corroboraram com a abordagem trazida pelo artigo de Hecht (2016), discutido anteriormente, podemos perceber nos seguintes trechos :

[...] Em 1927, portanto dois anos antes de Hubble, Lemaître argumentou que os desvios espectrais para o vermelho poderiam ser evidência de que nosso universo está em expansão.[...]

[...] Portanto o que é chamado de "lei de Hubble", ou relação velocidade-distância já aparecia no artigo de Lemaître.

[...] A principal contribuição de Hubble foi ter utilizado em métodos mais convincentes de determinação de distâncias de nebulosas [...]

Notemos então que a "descoberta" de um universo em expansão, apresentado pela maioria dos livros didáticos, sendo um "consenso distorcido", data do ano de 1929 com as observações astronômicas de Hubble, confirmando os cálculos teóricos de Friedmann em relação a um universo em expansão (SOARES, 2013; LIMA, SANTOS, 2018). Contudo, as pesquisas com supernovas permitem perceber que esta expansão é acelerada. Antigamente, se pensava em um universo se expandindo de uma forma que a matéria iria "frear" esta expansão.

Com tantos dados observacionais como os próprios desvios espectrais, o melhor modelo que se ajusta a esses dados é o modelo Λ CDM - CDM vem do inglês e significa *Cold Dark Matter*, em português, matéria escura fria; já o Λ representa a constante cosmológica nas equações de Einstein (BIANCHI, ROVELLI & KOLB, 2010; LIMA, SANTOS, 2018). Ele é baseado em seis parâmetros, e prediz um universo plano. Se o universo fosse, por exemplo, esférico ele iria se expandir e se contrair causando o famoso "Big Crunch" (CASTELVECCHI, 2020). O universo também poderia ser hiperbólico, mas a aceleração esperada seria muito "maior" que a observada. Assim, atualmente a melhor "aproximação" é de um universo plano isotrópico e homogêneo, que necessariamente precisa da matéria escura e da energia escura para "sustentar" tal modelo. Isotropia significa que o universo teria a mesma aparência em diferentes "lugares" e homogeneidade significa que o universo possui a mesma densidade média em sua totalidade" (em grandes escalas).

Observação: Einstein propôs em 1917 o seu famoso modelo cosmológico no qual o universo é fechado (como a superfície de uma esfera. Einstein teve que modificar suas equações, introduzindo uma constante cosmológica (Λ). Concluiu assim ter conseguido implementar o princípio de Mach. No entanto, ainda em 1917 o astrônomo holandês Willem De Sitter mostrou que as equações modificadas admitiam uma solução para um universo vazio, que correspondia a um universo em expansão. Einstein estava motivado a alterar seu modelo por causa do princípio de Mach. Horvath (2020) diz que De Sitter mostrou uma relação entre o deslocamento espectral e distância; mas Horvath afirma que existe ainda uma séria confusão que decorre da permanência no "imaginário da hipótese inicial de De Sitter, quem identificou o deslocamento espectral observado por Slipher e estudado por Hubble com o efeito Doppler, quando na verdade na expansão de Hubble as galáxias não se deslocam respeito do espaço-tempo, mas é este que "estica" com o tempo e as leva junto; a exemplo de um córrego com folhas (galáxias) flutuando" (HORVATH, 2020, p. 5).



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

Para Mach não existe sentido filosófico em se falar do movimento de um corpo em relação ao vazio, só existindo o movimento de um corpo em relação a outros corpos. Desse modo, cada partícula no universo teria alguma interação sobre todas as outras partículas.

Após algumas "desilusões" Einstein concluiu que sua teoria não implementa totalmente o princípio de Mach. Acabou abandonando o princípio de Mach e ficou com sua teoria da relatividade geral, embora as ideias de Mach tivessem sido sua principal inspiração na criação da teoria. Ernst Mach, por sua vez, rejeitou a teoria da relatividade de Einstein por achar que ela não estava de acordo com suas ideias.

Então a expansão é acelerada, e empurrada para fora por algum tipo de força misteriosa para a qual não há ainda explicação. Este fenômeno de energia escura parecia estranho, mas, de acordo com a Teoria Geral da Relatividade, massa

e energia são equivalentes. E quando os cosmologistas observaram a quantidade de energia necessária para criar tal força misteriosa, eles descobriram que ela explicava perfeitamente a massa que ainda faltava nos seus modelos. Enquanto a possibilidade de repulsão gravitacional não existe na gravidade newtoniana, ela existe na relatividade geral. A equivalência entre matéria e energia significa que as pressões gasosas causadas por movimentos moleculares térmicos podem ser uma fonte de campos gravitacionais. O campo gravitacional de um fluido com pressão suficientemente negativa é repulsivo. Percebeu-se, com isso, que alguns dos campos quânticos que surgem na teoria das partículas elementares permitem fluidos com pressão negativa. Energia escura seria, portanto, simplesmente o fluido de pressão negativa que é postulado como responsável pela aceleração cósmica (ZIMDAHL, 2021).

Bassalo (2012) destaca que a expansão acelerada do Universo pela presença de matéria e energia escuras foi descoberta pelos astrofísicos norte-americanos Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt e Adam Guy Riess, ganhadores do Prêmio Nobel de Física de 2011; e que um primeiro indício da existência de matéria escura decorreu da colisão de dois aglomerados de galáxias, como já comentado.

Lisa Randall, no livro já comentado, argumenta que talvez nós nunca consigamos de fato detectar a matéria escura. A matéria escura é uma hipótese, que para a alegria e/ou tristeza de muitos físicos, é apoiada por observações astronômicas, por fundamentos teóricos e pelo próprio entendimento da formação de galáxias uma vez que segundo pesquisadores, como a própria Lisa Randall, a matéria escura foi responsável pela atração gravitacional precisa para formação das primeiras galáxias do universo. A Via Láctea, inclusive, segundo ela, possui um halo de matéria escura que corresponderia a 650 mil anos-luz de comprimento e de massa correspondente a 1 trilhão de massas solares. Claro, se a matéria escura existisse esses dados seriam os mais próximos do que nós podemos interpretar a dinâmica da natureza. A posição da comunidade científica é muito favorável à existência da matéria escura, porém, vale ressaltar que existem trabalhos 9 que mostram galáxias que não necessariamente precisam de “matéria escura”.

Um breve resumo do artigo: A galaxy lacking dark matter [VAN DOKKUM et al., 2018]

O artigo demonstra que a matéria escura nem sempre está acoplada à matéria bariônica em escalas galácticas; relata velocidades radiais de dez objetos semelhantes a aglomerados globulares luminosos na galáxia ultra difusa NGC1052 – DF2.

Os pesquisadores concluíram que realmente existe uma população de objetos compactos e luminosos associados ao NGC1052, e que a massa dinâmica é consistente com a massa estelar, a galáxia é extremamente deficiente em matéria escura e é um bom candidato para uma galáxia sem nenhuma matéria escura. Os autores completam que não se sabe como a galáxia foi formada e que seus resultados demonstram que a matéria escura é separável das galáxias (VAN DOKKUM et al., 2018).

Conclusão

A história da Cosmologia Moderna se confunde com a origem da Teoria da Relatividade. Albert Einstein, ao apresentar a Relatividade Geral, em 1915, sugeriu que o nosso universo seria estático e com uma distribuição homogênea de matéria, mas para evitar o colapso (isto é, evitar que toda a matéria se contraísse a um ponto extremamente denso) introduziu uma constante, que chamou de "constante cosmológica". Na década seguinte, Friedmann mostrou teoricamente que o universo se expandia e que essa expansão era compatível com as equações da Relatividade Geral (LIMA, SANTOS, 2018). Einstein, que num primeiro momento discordou, ao ver os cálculos, voltou atrás e reconheceu as ideias de Friedmann, e passou a se preocupar com as questões da expansão do universo (BAGDONAS et al., 2017). Bagdonas, Zanetic e Gurgel (2018) propõem um jogo didático para discutir com os estudantes do Ensino Médio o que ficou conhecido na História da Ciência como "A famosa discussão envolvendo o renomado físico Einstein e o físico soviético Friedmann" – um fato histórico em que dois grandes cientistas discordam, refazem cálculos e um volta atrás. O jogo busca, além de discutir algumas questões sociais e históricas, desconstruir visões ingênuas de que "gênios" não cometem erros.

Trabalhos posteriores, de Lemaître e Hubble, demonstraram uma lei linear de expansão do universo, e observações posteriores mostraram que o universo se expande a uma velocidade muito grande, de 280.000 km/s.

Atualmente os cientistas assumem que a "constante cosmológica" é fundamental para a Cosmologia Moderna (BIANCHI, ROVELLI & KOLB, 2010).

Na visão de Helayël-Neto (2021) o cientista conhece e trabalha na Física com/através de constantes fundamentais. Além da constante cosmológica (estudada no Ensino Médio como constante da gravitação universal de Newton), temos outras constantes como: a velocidade da luz no vácuo (na Relatividade), a constante de Planck (na Mecânica Quântica), a carga fundamental do elétron (no eletromagnetismo) e a constante de Boltzmann (na Física Estatística). Atualmente os físicos estudam o " α ", que é a constante de estrutura fina da Teoria Quântica de Campos, isto é, ela avalia uma anomalia do magnetismo do elétron, associada ao Spin.

A anomalia magnética do elétron é importante porque, do ponto de vista histórico, reuniu a Mecânica Quântica e a Relatividade, duas áreas antes incomunicáveis, em uma nova área que, a partir de 1947, é chamada Teoria Quântica de Campos. Isto exigiu apurar a nossa compreensão das partículas, exigiu medir com maior precisão, por exemplo, a razão giromagnética do elétron; as partículas elementares como o elétron passaram a ser tratadas, não mais como partículas, mas como um ente que geram um campo e recebem/sentem as flutuações desse campo; as partículas vivem no espaço-tempo e respondem à geometria desse espaço. As medidas da constante da estrutura fina são fundamentais para compreendermos melhor nosso universo. Para Helayél-Neto (2021) a constante "α" parece bastante abstrata, mas para avançar a Física precisamos recorrer à abstração. Precisamos também de muito trabalho de pesquisa, neste caso desde a descoberta do elétron, em 1897, foram necessários mais de 100 de pesquisa para se chegar a medidas precisas da anomalia do elétron. Esse é o tempo da ciência, pode demorar décadas de pesquisa para que se consiga definir precisamente apenas uma constante. Sua importância é pode estar revelando uma nova física.

Para Helayél (2021), pesquisador da área de Teoria Quântica de Campos, a física teórica e a física experimental lançam desafios uma à outra. A matéria escura (os modelos de *Wimps*, *Axions*, *dark foton*) são desafios que a física teórica abriu para a física experimental, que ainda não puderam ser contemplados (TAO, 2020). Outros exemplos são os grandes aceleradores de partículas, como LHC, que são tentativas da física experimental de responder a questões teóricas. De outro lado, há evidências experimentais na Astrofísica e na Supercondutividade que são desafios para a física teórica.

A física se move por desafios porque não há perguntas finais, tampouco respostas finais. Às vezes as respostas são temporárias, são aceitas pela comunidade científica até que novas e mais consistentes explicações apareçam, movidas fortemente pela fenomenotécnica, como nos ensina Bachelard, já que ao submetemos a natureza a condições controladas no laboratório aprendemos muito sobre a natureza da matéria.

No campo da Cosmologia, Astrofísica e Física de Partículas, matéria e energia escura são ao mesmo tempo um desafio experimental e teórico, fazendo surgir entre 1930 e 1950 vários modelos de evolução do universo.

Na década seguinte, em 1965, a detecção da radiação de fundo, por Arnold Penzias e Robert Wilson, utilizando uma antena destinada a testes com satélites de telecomunicações do laboratório *Bell Telephone Laboratories* (MARQUES, 2015), apontou que o universo teria surgido de uma singularidade, o *Big Bang*, e a partir dessa explosão primordial teria se formado a estrutura de um universo geometricamente plano e em expansão, ou seja, um universo plano e aberto. No início dos anos 1990 foi possível mostrar que a matéria visível dos aglomerados de galáxias corresponde a apenas 15% de sua matéria total, e que 85% seria matéria faltante – a matéria escura.

Para que o universo seja aberto e plano, a constante cosmológica é necessária. Porém, a observação da luminosidade de centenas de supernovas já catalogadas revelou que universo está em expansão acelerada. O conhecimento que temos até hoje é de que a matéria visível e mesmo a matéria escura causam desaceleração (a gravidade é atrativa), e é preciso, então, que haja uma energia positiva (algo que seja repulsivo) para garantir a expansão acelerada do universo – este algo foi chamado de energia escura. Há uma candidata, chamada Λ , que é muito próxima à cosmológica proposta por Einstein, sugerindo que Einstein estava correto. Hoje se aceita que 68,3% do universo é energia escura.

O que ocorre é que a Teoria Quântica de Campos, antes mencionada, prevê teoricamente várias ordens de grandeza maior para o valor de Λ , e este é um problema teórico que a Física tem como grande desafio atualmente.

Poderá haver, como sugere Helayël-Neto (2021), uma outra física que surgirá nas próximas décadas, especialmente com a contribuição (captação de dados e imagens mais precisas) de grandes telescópios como James Webb.

Esta é uma reflexão epistemológica que consideramos importante de ser feita junto aos alunos do Ensino Médio. Neste texto o que buscamos fazer, através da revisão de literatura sobre um tema de fronteira – que simultaneamente envolve Física, Cosmologia, Astrofísica, Física de Partículas – é uma tentativa de mostrar como a ciência Física é um processo em permanente construção.

Referências

ALVES-BRITO, A.; MASSONI, N. T. **Astrofísica para a Educação Básica: a origem dos elementos químicos no Universo**. Curitiba: Appris Editora, 2019. Alves-Brito, A.; Massoni, N. T. **Astrofísica para a Educação Básica: a origem dos elementos químicos no Universo**. Curitiba: Appris Editora, 2019.

BACHELARD, G. **A Filosofia do não; O Novo Espírito Científico; A Poética do Espaço**: Press Universitaires France, Paris. Tradução Presença Ltda. Lisboa (A filosofia do Não); Livraia Eldorado-Tijuca Ltda, Rio de Janeiro (A poética do Espaço), Abril S.A Cultural e Industrial São Paulo (O Novo Espírito Científico), 1979.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BAGDONAS, Alexandre, et al. Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39, Jan/2017. SciELO, <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0257>

BAGDONAS, Alexandre; ZANETIC, João; GURGEL, Ivã. O maior erro de Einstein? Debatendo o papel dos erros na ciência através de um jogo didático sobre cosmologia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 97-117, 2018. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n1p97>

BARBUY, Beatriz. A idade, a massa e a expansão do universo. **REVISTA USP**, n. 62, p. 194-199. 2005. DOI <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13353/15171/16327>

BASSALO, José Maria Filardo. O Prêmio Nobel de Física de 2011. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 29, no 2, 2012, p. 336-342. DOI <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29n2p336>.

BERNAL, Nicolás; NECIB, Lina; SLATYER, Tracy R. Spherical cows in dark matter indirect detection. **Journal Of Cosmology And Astroparticle Physics**, [S.L.], v. 2016, n. 12, p. 030-030, 19 dez. 2016. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1475-7516/2016/12/030>

BERTONE, Gianfranco; HOOPER, Dan. History of Dark Matter. **Reviews of Modern Physics**, vol. 90, no 4, out/2018, p. 045002. DOI. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.045002>.

BIANCHI, Eugenio, ROVELLI, Carlo, ROCKY, Kolb. Is Dark Energy Really a Mystery? **Nature**, vol. 466, no 7304, Jul/2010, p. 321-22. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1038/466321a>

BRUMFIEL, Geoff. Cosmology Gets Real. **Nature**, vol. 422, no 6928, Mar/2003, p. 108-10. DOI.org (Crossref): <https://doi.org/10.1038/422108a>

CASTELVECCHI, Davide. Hints of Twisted Light Offer Clues to Dark Energy's Nature. **Nature**, vol. 588, n. 7836, Dez/2020, p. 21-21. DOI.org (Crossref): <https://doi.org/10.1038/d41588-020-03201-8>.

CALDWELL, Robert; KAMIONKOWSKI, Marc. Dark matter and dark energy. **Nature**, [S.L.], v. 458, n. 7238, p. 587-589, abr. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/458587a>.

CHO, Adrian. Dark-Matter Mystery Nears Its Moment of Truth. **Science**, [S.L.], v. 340, n. 6131, p. 418-418, Abr/2013. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.340.6131.418>

CONRAD, Jan; REIMER, Olaf. Indirect dark matter searches in gamma and cosmic rays. **Nature Physics**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 224-231, Mar/2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nphys4049>.

DAVIS, T.M. Cosmological Constraints on Dark Energy. **General Relativity and Gravitation**, vol. 46, no 6, jun/2014, p. 1731. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1007/s10714-014-1731-1.2>.

DIAS, Rafael Merib. **A História da Cosmologia, da Matéria e Energia Escura**. Monografia apresentada na disciplina de História da Física e Epistemologia, 1º Semestre, 2022. Licenciatura de Física, UFRGS.

DU, N. et al. Search for Invisible Axion Dark Matter with the Axion Dark Matter Experiment. **Physical Review Letters**, vol. 120, no 15, abr/2018, p. 151301. DOI <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.151301>

HECHT, Jeff. Dark matter: what's the matter? **Nature**, [S.L.], v. 537, n. 7622, p. 194-197, Set/2016. Springer Science and Business Media LLC: <http://dx.doi.org/10.1038/537s194a>.

HELAYÉL-NETO, J. A. **Que lições aprendemos com o magnetismo do elétron e do seu robusto primo, o múon?** Conferência no XLI Encontro Nacional de Física de Partículas e Campos, 27 a 29 de setembro de 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DPWF6LIV4H4>

HORVATH, Jorge Ernesto. Alguns conceitos no ensino da Cosmologia que quase sempre levam a confusão. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, 2020, p. e20200130. DOI <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0130>.

LEE, S. et al. Axion Dark Matter Search around 6.7 μ EV. **Physical Review Letters**, vol. 124, no 10, mar/2020, p. 101802. DOI <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.101802>.

LIMA, J. A. S.; SANTOS, R. C. 100 Anos da Cosmologia Relativística (1917–2017). Parte I: Das Origens à Descoberta da Expansão Universal (1929). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, n. 1, 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0196>

LIU, Jianglai; CHEN, Xun; JI, Xiangdong. Current status of direct dark matter detection experiments. **Nature Physics**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 212-216, mar/2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nphys4039>.

MARQUES, G. A. Radiação Cósmica de Fundo em Micro-ondas. **Physicae Organum**. Brasília, vol. 1, n. 2, 2015.

PARDO, Kris; SPERGEL, David N. What Is the Price of Abandoning Dark Matter? Cosmological Constraints on Alternative Gravity Theories. **Physical Review Letters**, vol. 125, no 21, nov/ 2020, p. 211101. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.211101>

PÖSSEL, Markus. Interpretations of cosmic expansion: anchoring conceptions and misconceptions. **Physics Education**, 2020. DOI.org (Datacite): <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2008.07778>

SOARES, Domingos. **Padre Lemaître e a expansão do Universo**. 2013. Disponível em: <https://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/lemaitre/lemaitre.htm>. Acesso em 24/Mai/2023

RANDALL, Lisa. What Is Dark Matter? **Nature**, [S.L.], v. 557, n. 7704, p. 6-7, Mai/2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-018-05096-y>.

RANDALL, Lisa. *O universo invisível: Matéria escura, dinossauros e a surpreendente conectividade do mundo*. 1ª ed. Companhia da Letras, 2022.

SILVA, Gival Pordeus. Estimando parâmetros cosmológicos a partir de dados observacionais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 40, dez/2017. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0247>

SWART, J. G., BERTONE, G., Van DONGEN, J. How Dark Matter Came to Matter. *Nature Astronomy*, vol. 1, no 3, Mar/2017, p. 0059. DOI.org (Crossref): <https://doi.org/10.1038/s41550-017-0059>

SWINBANK, Mark. Distant galaxies lack dark matter. *Nature*, [S.L.], v. 543, n. 7645, p. 318-319, Mar/2017. Springer Science and Business Media LLC: <http://dx.doi.org/10.1038/543318a>

TAO, C. Dark Matter searches: an overview. *Journal of Instrumentation*, vol. 15, n. 06, jun/2020, p. C06054–C06054. DOI <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/06/C06054>

VAN DOKKUM, Pieter; DANIELI, Shany; COHEN, Yotam; MERRITT, Allison; ROMANOWSKY, Aaron J.; ABRAHAM, Roberto; BRODIE, Jean; CONROY, Charlie; LOKHORST, Deborah; MOWLA, Lamiya. A galaxy lacking dark matter. *Nature*, [S.L.], v. 555, n. 7698, p. 629-632, Mar/2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature25767>.

ZIMDAHL, Winfried. Big bang & energia escura. *Cadernos de Astronomia*, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 106, 31 jan. 2021. <http://dx.doi.org/10.47458/cad.astro.v2n1.33624>

TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

Disponíveis em: http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/mostra_ta.php

- n.º 1 Um Programa de Atividades sobre de Física para a 8ª Série do 1º Grau.
Rolando Axt, Maria Helena Steffani e Vitor Hugo Guimarães, 1990.
- n.º 2 Radioatividade
Magale Elisa Brückmann e Susana Gomes Fries, 1991.
- n.º 3 Mapas Conceituais no Ensino de Física
Marco Antonio Moreira, 1992.
- n.º 4 Um Laboratório de Física para Ensino Médio
Rolando Axt e Magale Elisa Brückmann, 1993.
- n.º 5 Física para Secundaristas – Fenômenos Mecânicos e Térmicos
Rolando Axt e Virgínia Mello Alves, 1994.
- n.º 6 Física para Secundaristas – Eletromagnetismo e Óptica
Rolando Axt e Virgínia Mello Alves, 1995.
- n.º 7 Diagramas V no Ensino de Física
Marco Antonio Moreira, 1996.
- n.º 8 Supercondutividade – Uma proposta de inserção no Ensino Médio
Fernanda Ostermann, Letícia Mendonça Ferreira, Claudio de Holanda Cavalcanti, 1997.
- n.º 9 Energia, entropia e irreversibilidade
Marco Antonio Moreira, 1998.
- n.º 10 Teorias construtivistas
Marco Antonio Moreira e Fernanda Ostermann, 1999.
- n.º 11 Teoria da relatividade especial
Trieste Freire Ricci, 2000.
- n.º 12 Partículas elementares e interações fundamentais
Fernanda Ostermann, 2001.
- n.º 13 Introdução à Mecânica Quântica. Notas de curso
Ileana Maria Greca e Victoria Elnecave Herscovitz, 2002.
- n.º 14 Uma introdução conceitual à Mecânica Quântica para professores do ensino médio
Trieste Freire Ricci e Fernanda Ostermann, 2003.
- n.º 15 O quarto estado da matéria
Luiz Fernando Ziebell, 2004.
- v. 16, n. 1 Atividades experimentais de Física para crianças de 7 a 10 anos de idade
Carlos Schroeder, 2005.
- v. 16, n. 2 O microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de

Física

Lucia Forgiarini da Silva e Eliane Angela Veit, 2005.

- v. 16, n. 3 Epistemologias do Século XX
Neusa Teresinha Massoni, 2005.
- v. 16, n. 4 Atividades de Ciências para a 8ª série do Ensino Fundamental: Astronomia, luz e cores
Alberto Antonio Mees, Cláudia Teresinha Jraige de Andrade e Maria Helena Steffani, 2005.
- v. 16, n. 5 Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein
Jeferson Fernando Wolff e Paulo Machado Mors, 2005.
- v. 16, n. 6 Trabalhos trimestrais: pequenos projetos de pesquisa no ensino de Física
Luiz André Mützenberg, 2005.
- v. 17, n. 1 Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma aprendizagem significativa no nível médio
Maria Beatriz dos Santos Almeida Moraes e Rejane Maria Ribeiro-Teixeira, 2006.
- v. 17, n. 2 A estratégia dos projetos didáticos no ensino de física na educação de jovens e adultos (EJA)
Karen Espindola e Marco Antonio Moreira, 2006.
- v. 17, n. 3 Introdução ao conceito de energia
Alessandro Bucussi, 2006.
- v. 17, n. 4 Roteiros para atividades experimentais de Física para crianças de seis anos de idade
Rita Margarete Grala, 2006.
- v. 17, n. 5 Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio: uma proposta para professores
Márcia Cândida Montano Webber e Trieste Freire Ricci, 2006.
- v. 17, n. 6 Unidades didáticas para a formação de docentes das séries iniciais do ensino fundamental
Marcelo Araújo Machado e Fernanda Ostermann, 2006.
- v. 18, n. 1 A Física na audição humana
Laura Rita Rui, 2007.
- v. 18, n. 2 Concepções alternativas em Óptica
Voltaire de Oliveira Almeida, Carolina Abs da Cruz e Paulo Azevedo Soave, 2007.
- v. 18, n. 3 A inserção de tópicos de Astronomia no estudo da Mecânica em uma abordagem epistemológica
Erico Kemper, 2007.
- v. 18, n. 4 O Sistema Solar – Um Programa de Astronomia para o Ensino Médio
Andréia Pessi Uhr, 2007.
- v. 18, n. 5 Material de apoio didático para o primeiro contato formal com Física; Fluidos
Felipe Damasio e Maria Helena Steffani, 2007.

- v. 19, n. 6 Utilizando um forno de microondas e um disco rígido de um computador como laboratório de Física
Ivo Mai, Naira Maria Balzaretto e João Edgar Schmidt, 2007.
- v. 19, n. 1 Ensino de Física Térmica na escola de nível médio: aquisição automática de dados como elemento motivador de discussões conceituais
Denise Borges Sias e Rejane Maria Ribeiro-Teixeira, 2008.
- v. 19, n. 2 Uma introdução ao processo da medição no Ensino Médio
César Augusto Steffens, Eliane Angela Veit e Fernando Lang da Silveira, 2008.
- v. 19, n. 3 Um curso introdutório à Astronomia para a formação inicial de professores de Ensino Fundamental, em nível médio
Sônia Elisa Marchi Gonzatti, Trieste Freire Ricci e Maria de Fátima Oliveira Saraiva, 2008.
- v. 19, n. 4 Sugestões ao professor de Física para abordar tópicos de Mecânica Quântica no Ensino Médio
Sabrina Soares, Iramaia Cabral de Paulo e Marco Antonio Moreira, 2008.
- v. 19, n. 5 Física Térmica: uma abordagem histórica e experimental
Juleana Boeira Michelena e Paulo Machado Mors, 2008.
- v. 19, n. 6 Uma alternativa para o ensino da Dinâmica no Ensino Médio a partir da resolução qualitativa de problemas
Carla Simone Facchinello e Marco Antonio Moreira, 2008.
- v. 20, n. 1 Uma visão histórica da Filosofia da Ciência com ênfase na Física
Eduardo Alcides Peter e Paulo Machado Mors, 2009.
- v. 20, n. 2 Relatividade de Einstein em uma abordagem histórico-fenomenológica
Felipe Damasio e Trieste Freire Ricci, 2009.
- v. 20, n. 3 Mecânica dos fluidos: uma abordagem histórica
Luciano Dernadin de Oliveira e Paulo Machado Mors, 2009.
- v. 20, n. 4 Física no Ensino Fundamental: atividades lúdicas e jogos computadorizados
Zilk M. Herzog e Maria Helena Steffani, 2009.
- v. 20, n. 5 Física Térmica
Nelson R. L. Marques e Ives Solano Araujo, 2009.
- v. 20, n. 6 Breve introdução à Física e ao Eletromagnetismo
Marco Antonio Moreira, 2009.
- v. 21, n. 1 Atividades experimentais de Física à luz da epistemologia de Laudan: ondas mecânicas no ensino médio
Lizandra Botton Marion Morini, Eliane Angela Veit, Fernando Lang da Silveira, 2010.
- v. 21, n. 2 Aplicações do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas, da Física Moderna e Contemporânea na Medicina (1ª Parte)
Mara Fernanda Parisoto e José Túlio Moro, 2010.
- v. 21, n. 3 Aplicações do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas, da Física Moderna e Contemporânea na Medicina (2ª Parte)
Mara Fernanda Parisoto e José Túlio Moro, 2010.

- v. 21, n. 4 O movimento circular uniforme: uma proposta contextualizada para a Educação de Jovens e Adultos (EJA)
Wilson Leandro Krummenauer, Sayonara Salvador Cabral da Costa e Fernando Lang da Silveira, 2010.
- v. 21, n. 5 Energia: situações para a sala de aula
Marcia Frank de Rodrigues, Flávia Maria Teixeira dos Santos e Fernando Lang da Silveira, 2010.
- v. 21, n. 6 Introdução à modelagem científica
Rafael Vasques Brandão, Ives Solano Araujo e Eliane Angela Veit, 2010.
- v. 22, n. 1 Breve introdução à Lei de Gauss para a eletricidade e à Lei de Ampere-Maxwell
Ives Solano Araujo e Marco Antonio Moreira, 2011.
- v. 22, n. 2 O conceito de simetria na Física e no Ensino de Física
Marco Antonio Moreira e Aires Vinícius Correia da Silveira
- v. 22, n. 4 Visões epistemológicas contemporâneas: uma introdução
Marco Antonio Moreira e Neusa Teresinha Massoni, 2011.
- v. 22, n. 5 Introdução à Física das Radiações
Rogério Fachel de Medeiros e Flávia Maria Teixeira dos Santos, 2011.
- v. 22, n. 6 O átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje
Lisiane Araujo Pinheiro, Sayonara Salvador Cabral da Costa e Marco Antonio Moreira, 2011.
- v. 23, n. 1 Situações-problema como motivação para o estudo de Física no 9o ano
Terrimar I. Pasqualetto, Rejané M. Ribeiro-Teixeira e Marco Antonio Moreira, 2012.
- v. 23, n. 2 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas UEPS
Marco Antonio Moreira, 2012.
- v. 23, n. 3 Universo, Terra e Vida: aprendizagem por investigação
Roberta Lima Moretti, Maria de Fátima Oliveira Saraiva e Eliane Angela Veit, 2012.
- v. 23, n. 4 Ensinando Física através do radioamadorismo
Gentil César Bruscatto e Paulo Machado Mors, 2012.
- v. 23, n. 5 Física na cozinha
Lairane Rekovvsky, 2012.
- v. 23, n. 6 Inserção de conteúdos de Física Quântica no Ensino Médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa
Adriane Griebeler e Marco Antonio Moreira, 2013.
- v. 24, n. 1 Ensinando Física Térmica com um refrigerador
Rodrigo Poggia e Maria Helena Steffani, 2013.
- v. 24, n. 2 Einstein e a Teoria da Relatividade Especial: uma abordagem histórica e introdutória
Melina Silva de Lima, 2013.
- v. 24, n. 3 A Física dos equipamentos utilizados em eletrotermofototerapia

- Alexandre Novicki, 2013.
- v. 24, n. 4 O uso de mapas e esquemas conceituais em sala de aula
Angela Denise Eich Müller e Marco Antonio Moreira, 2013.
- v. 24, n. 5 Evolução temporal em Mecânica Quântica: conceitos fundamentais envolvidos
Glauco Cohen F. Pantoja e Victoria Elnecave Herscovitz, 2013.
- v. 24, n. 6 Aprendizagem significativa em mapas conceituais
Marco Antonio Moreira, 2013.
- v. 25, n. 1 Introdução ao uso de tecnologias no Ensino de Física experimental dirigida a licenciandos de Física
Leandro Paludo, Eliane Angela Veit e Fernando Lang da Silveira, 2014.
- v. 25, n. 2 Uma proposta para a introdução dos plasmas no estudo dos estados físicos da matéria no Ensino Médio
Luis Galileu G. Tonelli, 2014.
- v. 25, n. 3 Abordagem de conceitos de Termodinâmica no Ensino Médio por meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas
Marcos Pradella e Marco Antonio Moreira, 2014.
- v. 26, n.1 Ensino de Eletricidade para a Educação de Jovens e Adultos
Rodrigo Lapuente de Almeida e Sílvio Luiz de Souza Cunha, 2015.
- v. 26, n.2 Textos e atividades sobre oscilações e ondas, modelos atômicos, propriedades da luz, luz e cores, radiações ionizantes e suas aplicações médicas
José Fernando Cánovas de Moura, Rejane Maria Ribeiro-Teixeira e Fernando Lang da Silveira, 2015.
- v. 26, n.3 Ensino de Óptica na escola de nível médio: utilizando a plataforma Arduino como ferramenta para aquisição de dados, controle e automação de experimentos no laboratório didático
Elio Molisani Ferreira Santos, Rejane Maria Ribeiro-Teixeira e Marisa Almeida Cavalcante, 2015.
- v. 26, n.4 Proposta didática para desenvolver o tema supercondutividade no Ensino Médio
Flavio Festa, Neusa Teresinha Massoni e Paulo Pureur Neto, 2015.
- v. 26, n.5 Oficina de Astronomia
Marina Paim Gonçalves e Maria Helena Steffani, 2015.
- v. 26, n.6 Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de Ciências/Física
Marco Antonio Moreira e Neusa Teresinha Massoni, 2015.
- v. 27, n. 1 Proposta didática para apresentar conceitos do movimento de queda dos corpos no Ensino Fundamental através de um aporte histórico e epistemológico
Jênifer Andrade de Matos e Neusa Teresinha Massoni, 2016.
- v. 27, n. 2 Proposta didática para o ensino de calorimetria com ênfase no desenvolvimento da habilidade de leitura e interpretação de gráficos
Gabriel Schabbaach Schneider, Fernando Lang da Silveira e Eliane Angela Veit, 2016.
- v. 27, n. 3 Uma proposta de trabalho orientada por projetos de pesquisa para introduzir

- temas de Física no 9º ano do Ensino Fundamental
Jeferson Barp e Neusa Teresinha Massoni, 2016.
- v. 27, n. 4 Aplicação do Método Peer Instruction na abordagem das Leis de Newton no Ensino Médio
Jader Bernardes, Ives Solano Araujo e Eliane Angela Veit, 2016.
- v. 27, n. 5 Uma sequência didática sobre ondas com os métodos Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) e Ensino sob Medida (Just-in-time Teaching)
Madge Bianchi dos Santos, Ives Solano Araujo e Eliane Angela Veit, 2016.
- v. 27, n. 6 Uma proposta para introduzir a Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio: abordagem histórico epistemológica e conceitual
Eduardo Ismael, Fuchs, Dimiter Hadjinichef e Neusa Teresinha Massoni, 2016.
- v. 28, n. 1 Gravitação Universal em atividades práticas: uma abordagem histórica e cultural, das órbitas dos planetas à ficção científica
Eliana Fernandes Borragini, Daniela Borges Pavani e Paulo Lima Junior, 2017.
- v. 28, n. 2 O Bóson de Higgs na mídia, na Física e no Ensino da Física
Marco Antonio Moreira, 2017.
- v. 28, n. 3 Visões epistemológicas (ou sociológicas) recentes da ciência: uma introdução
Neusa Teresinha Massoni e Marco Antonio Moreira, 2017.
- v. 28, n. 4 Um jogo de perguntas e respostas como forma de motivar alunos do Ensino Médio ao estudo da Física: o tópico de Mecânica
Fabrizio Belli Riatto, Neusa Teresinha Massoni e A. Alves, 2017.
- v. 28, n. 5 Proposta de projeto extracurricular: uma intervenção desescolarizada na escola
Ismael de Lima, Paulo Lima Jr. e Rafael Pezzi, 2017.
- v. 28, n. 6 O experimento da borracha quântica: uso de analogias para o entendimento do quântico pelo clássico
Luciano Slovinski e A. Alves-Brito, 2017.
- v. 29, n. 1 A física e os instrumentos musicais: construindo significados em uma aula de acústica
Douglas Krüger da Silva e Alexandro Pereira de Pereira, 2018.
- v. 29, n. 2 Uma abordagem do tema estruturante "Matéria e Radiação" na Educação Básica: a busca da criticidade na educação científica
Ghisiane Spinelli Vargas, Neusa Teresinha Massoni e Ciláine Verônica Teixeira, 2018.
- v. 29, n. 3 Sensoriamento Remoto (SR) como forma de contextualização e prática da Educação Ambiental na disciplina de Física
Francineide Amorim Costa Santos, Neusa Teresinha Massoni, Claudio Rejane da Silva Dantas e Alexandre Luis Junges, 2018.
- v. 29, n. 4 Uma proposta para motivar o aluno a aprender mecânica no ensino médio - abordagem com tecnologias de informação e comunicação
Glauco Salomão Ferreira Ribas e Daniela Borges Pavani, 2018.
- v. 29, n. 5 Formação inicial e continuada de professores e alunos e alunos de Ensino Médio nos laboratórios de Física
Camila Werle, Mara Fernanda Parisoto e Valdir Rosa, 2018.
- v. 29, n. 6 História e Epistemologia da Ciência: alguns aprofundamentos e enriquecimentos que podem ser úteis a futuros professores de Física

- André Felipe Hoernig e Neusa Teresinha Massoni, 2018.
- v. 30, n. 1 Estudando a Relatividade Restrita com Folhetos de Cordel Científicos em Formato de História em Quadrinhos, através de uma Sequência de Ensino à luz da Neurociência Educacional Maria Derlandia de Araújo Januário e Francisco Augusto Silva Nobre, 2019.
- v. 30, n. 2 Sequência didática para o ensino de conceitos básicos de cinemática e de energia
Erelaine Patrícia Moraes e Ladário da Silva, 2019.
- v. 31, n. 1 O Ensino de Física por meio de Problemas Geradores de Discussões
Vinicius Machado e Nilcéia Aparecida Maciel Pinheiro, 2020.
- v. 31, n. 2 Experimentos de pensamento no Ensino de Física: Fundamentos e possibilidades didáticas
Alisson Cristian Giacomelli e Cleci Teresinha Werner da Rosa, 2020.
- v. 32, n. 1 Uma sequência didática para discutir temáticas sociocientíficas: o uso do Ensino de Ciências por argumentação
Ricardo Rangel Guimarães, Maria Aparecida Couto Ramos e Neusa Teresinha Massoni
- v. 32, n. 2 Equivalente mecânico do calor: atividades experimentais investigativas para a aprendizagem significativa entre calor e trabalho
Jackson Santos Azevedo, Francisco Nairon Monteiro Júnior e Luiz Marcio Santos Farias.
- v. 32, n. 5 (Re)Descobrimos a Teoria Quântica: um resgate dos principais conceitos apresentados nos discursos do Prêmio Nobel
Nathan Willig Lima, Yaffa Bruxel Rabeno, Fernando Shinoske Tagawa de Lemos Pires, Gabriela Gomes Rosa, Igor Dalbosco Lovison, Milena Lauschner Lopes e Félix Oliveira da Silva Steffens Wood

Apêndice H - Material Visual Da Unidade Didática

APRESENTAÇÃO

ABOUT ME

Andressa

Curitiba - Canoas/POA - Guarapuava

Mestranda em Ensino de Física -
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dona da Sandy Papelaria na Shopee

Gosto de séries, amo astrofísica, a louca da
papelaria, viajar, ouvir música...

O QUÊ EXISTE ALÉM DE NÓS?

"MATÉRIA E ENERGIA ESCURA" NO ENSINO MÉDIO: UM TEMA DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA EPISTEMOLOGICAMENTE EFERVESCENTE

CRONOGRAMA

Universo

95%?

O maior erro de Einstein

É o fim da gravidade de Newton?

UNIVERSO

O COMEÇO DE TUDO

Em bilhões de anos atrás

Big Bang	Via Láctea	Vida na Terra	Dias atuais
13,8B	13,6B	3,4B	

BIG BANG

Quantum Fluctuations

Inflation

Afterglow Light Pattern 375,000 yrs.

Dark Ages

1st Stars about 400 million yrs.

Big Bang Expansion 13,77 billion years

Dark Energy Accelerated Expansion

Development of Galaxies, Planets, etc.

Quantum Fluctuations

Inflation

Afterglow Light Pattern 375,000 yrs.

- 0,00001 seg: Primeiros prótons e nêutrons
- 1 min: Primeiros núcleos atômicos (H, He, Li)
- 380.000 anos: Primeiros átomos (H)

Quantum Fluctuations

Inflation

Afterglow Light Pattern 375,000 yrs.

Dark Ages

- 200 milhões de anos: Primeiras estrelas

1st Stars about 400 m

Cálcio



Ouro



Oxigênio



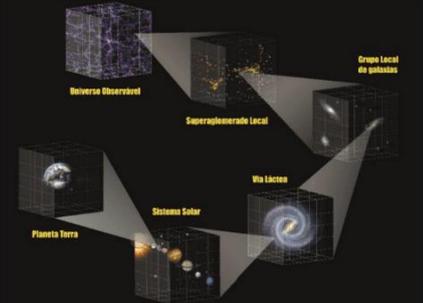
Carbono




“Somos todos poeira de estrelas”
Carl Sagan



Localizando o planeta Terra no Universo



EARTH



INNER SOLAR SYSTEM



Zoom

O PÁLIDO PONTO AZUL

A fotografia da Terra foi uma das últimas realizadas pela sonda Voyager 1, em 1990, a 6 bilhões de quilômetros da Terra, mais distante do que a órbita de Plutão. Essa imagem foi solicitada pelo astrônomo e comunicador científico Carl Sagan, que a apresentou pela primeira vez.

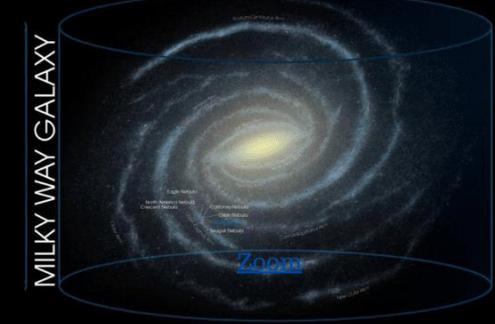


CLOSEST STARS

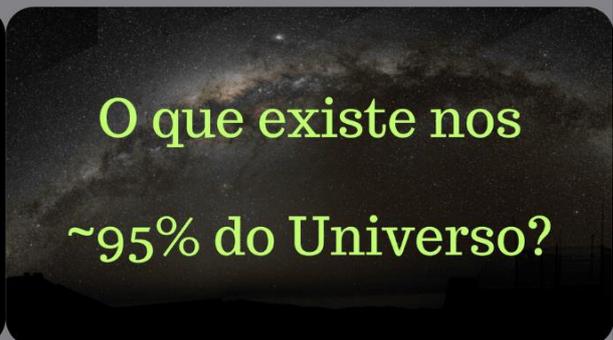
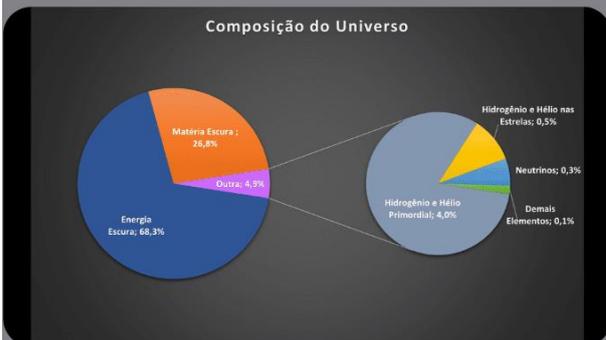
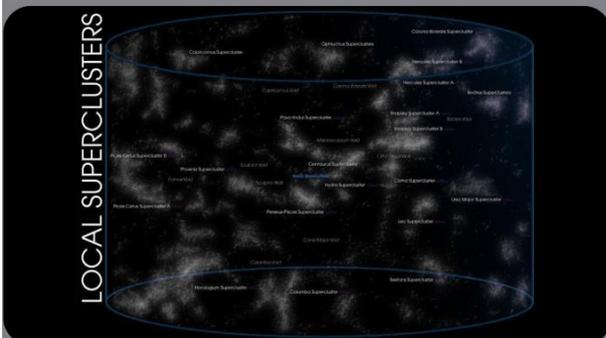
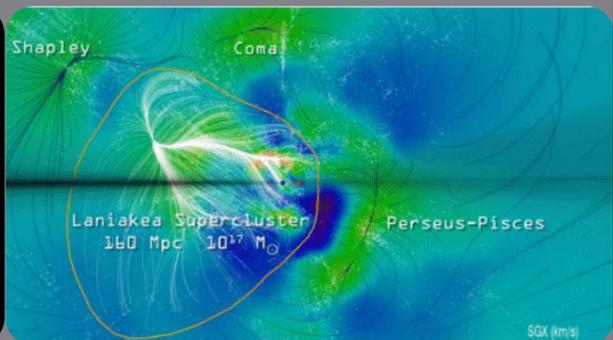
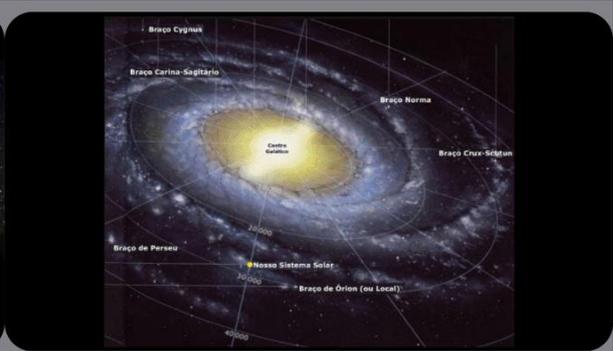


Escala

MILKY WAY GALAXY



Zoom



Como chegamos à Teoria do BIG BANG?

Como sabemos que o Universo está expandindo aceleradamente?

O que vemos esta no passado



CRONOGRAMA

Universo

O maior erro de Einstein 95%?

É o fim da gravidade de Newton?

4) O que você acha mais interessante na Física? E menos interessante?

"Quando estudamos sobre velocidade, espaço, relatividade do tempo; menos interessante, a parte de conversão de energia."



4) O que você acha mais interessante na Física? E menos interessante?

"Experimentos"
"Estudo da energia"
"Física Quântica; e menos interessante é a Física Clássica"



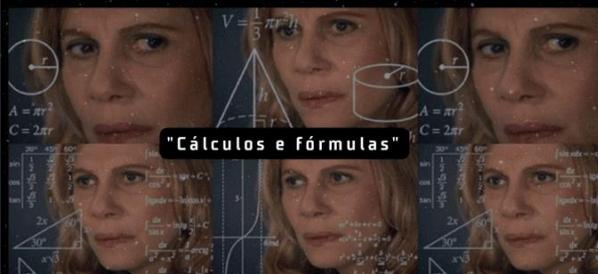
4) O que você acha mais interessante na Física? E menos interessante?

"As dinâmicas que relacionam espaço e tempo, teorias sobre multiversos... Estudos sobre movimento retilíneo uniforme etc..."



7) Quais dificuldades você costuma ter ao estudar Física?

"Cálculos e fórmulas"



"Cálculos e fórmulas"

Percebi que as pessoas que acham difícil a física pelos cálculos, acham interessante aulas de astronomia.



5) Que tipo de assunto você gostaria que fosse abordado nas aulas de Física?

"Física quântica e como a Física começou a fazer do Universo."
"As teorias de Albert Einstein e Stephen Hawking"



5) Que tipo de assunto você gostaria que fosse abordado nas aulas de Física?

"A anti-matéria e o espaço, matéria escura"
"mais sobre a física moderna, astrofísica e etc"

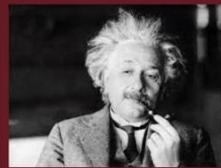


5) Que tipo de assunto você gostaria que fosse abordado nas aulas de Física?

"estudar os planetas e a matéria no espaço"
"assuntos que envolvessem o Universo e o tempo. Com muitas imagens, vídeos [...]"



TEORIA DO BIG BANG



Albert Einstein
(1879 - 1955)
Físico Teórico
Alemão

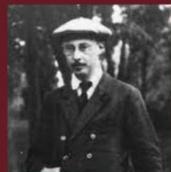


Edwin Hubble
(1889 - 1953)
Astrônomo norte-americano

TEORIA DO BIG BANG



Georges Lemaitre
(1894 - 1966)
Padre Belga e professor de Física.



Alexander Friedmann
(1888 - 1925)
Matemático e Cosmólogo Russo

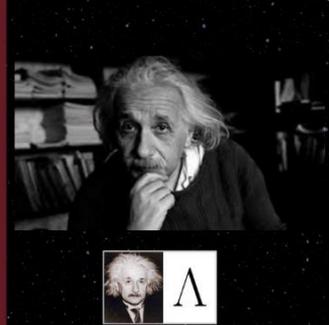
1915

- Teoria da Relatividade
- Universo Fechado, Estável e Estático
- a. Para não colapsar em sua gravidade

↓

1917

- Einstein acrescenta Constante Cosmológica



Constante Cosmológica:



Einstein

Uma hipotética força com pressão negativa que equilibra a atração gravitacional, mantendo as galáxias no mesmo lugar.

1923

Hubble observa que há mais Galáxias além da nossa...

1924 observa a Nebulosa de Andrômeda



1927

Lemaitre conclui:

- O raio do Universo tinha de crescer continuamente para ser estável - expandir
- Chega à Constante de Hubble (antes do Hubble)

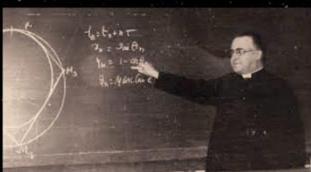
↓

Velocidade de afastamento de uma galáxia em relação à Terra

1927

Einstein rejeita a ideia de Lemaitre:

"Seus cálculos estão corretos, mas o modelo físico é atroz"



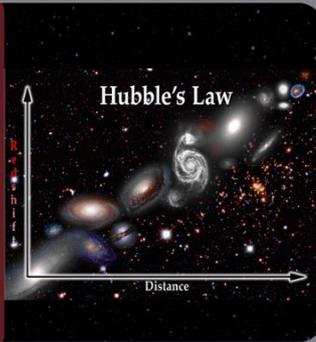
Levando em consideração a constante cosmológica de Einstein...



1929

Realizou a observação que o desvio para o vermelho das galáxias era diretamente proporcional à distância da galáxia à Terra

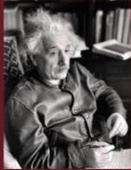
Hubble publica trabalho sobre a expansão do Universo.



1931

Lemaître publica na Nature seu trabalho sobre o "átomo primordial"

"Se o mundo começou com um único quantum, as noções de espaço e tempo não teriam nenhum significado no princípio; só começariam a ter algum significado sensato quando o quantum original fosse dividido em um número suficiente de quanta. Se esta sugestão estiver correta, o começo do mundo aconteceu um pouco antes do começo do espaço e do tempo"



1931

Se o Universo não é Estático...
A constante cosmológica não tem mais sentido...
"A maior estupidez da minha vida"



1931

Einsten "enterra" sua constante cosmológica

Maior erro de Einstein

1933

Einsten ouve a explicação de Lemaitrê do "átomos primordial" e diz:

"É a mais bela e satisfatória explicação da Criação que em algum momento eu tenha escutado"



1949

Em entrevista à BBC

Hoyle despreza a teoria de Lemaitrê, pois remetia a um Criador...

E ironiza a teoria como sendo um:

"Big Bang"



Fred Hoyle (1915-2001) Astrônomo Britânico

1965

É observada a Radiação Cósmica de Fundo, por Arno Penzias e Robert Wilson

(Já teorizada desde 1948 por George Gamov)

E em 1978, ganham o Nobel de Física pela descoberta

Mas Hoyle ainda tenta descrever um Universo quase estacionário...



Fred Hoyle

1966

Lemaitrê morre após ouvir a confirmação da observação da radiação cósmica de fundo...

Uma cratera na Lua e um veículo espacial da Agência Espacial Europeia, que não existe mais, receberam seu nome como gratificação...



1966

Lemaitrê morre após ouvir a confirmação da observação da radiação cósmica de fundo...

Uma cratera na Lua e um veículo espacial da Agência Espacial Europeia, que não existe mais, receberam seu nome como gratificação...

JUSTO?



1980

Cientistas tentam entender a formação das Teias Cósmicas após o Big Bang

levam em consideração: matéria, radiação e matéria escura

SEGUINDO A HISTÓRIA



LOCAL GROUP

1980

Cientistas tentam entender a formação das Teias Cósmicas após o Big Bang

levam em consideração: matéria, radiação e matéria escura

Explicam os aglomerados de galáxias, mas não os Superaglomerados

SEGUINDO A HISTÓRIA

Início da década de 90

Dois grupos de cientistas tentam compreender a expansão do Universo e o ponto em que começaria a copular em sua própria gravidade

Para isso

1 grupo mede

VELOCIDADE DAS GALÁXIAS

Para isso

1 grupo mede

BRILHO DAS GALÁXIAS

Para isso

1 grupo mede

VELOCIDADE DAS GALÁXIAS

1 grupo mede

BRILHO DAS GALÁXIAS

Amos os grupos:
O Universo além da Expansão sua taxa é ACELERADA

Para isso

1 grupo mede

VELOCIDADE DAS GALÁXIAS

1 grupo mede

BRILHO DAS GALÁXIAS

Amos os grupos:
Recorrem a Constante Cosmológica de Einstein

Para isso

1 grupo mede

VELOCIDADE DAS GALÁXIAS

1 grupo mede

BRILHO DAS GALÁXIAS

1998

Publicam o artigo sobre o que chamaram dessa expansão acelerada de

Energia Escura

2000

Modelo do Universo

Com:

Radiação Cósmica de Fundo

+ Constante Cosmológica

+ Energia Escura

COMO MEDIR A ENERGIA ESCURA?

Só podemos observar sua interação...

AFASTAMENTO DAS GALÁXIAS

RADIAÇÃO CÓSMICA DE FUNDO

AFASTAMENTO DAS GALÁXIAS

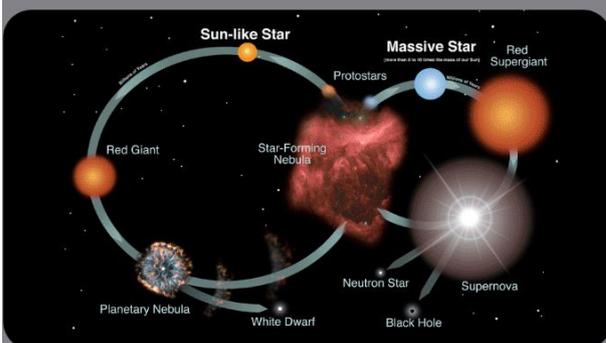
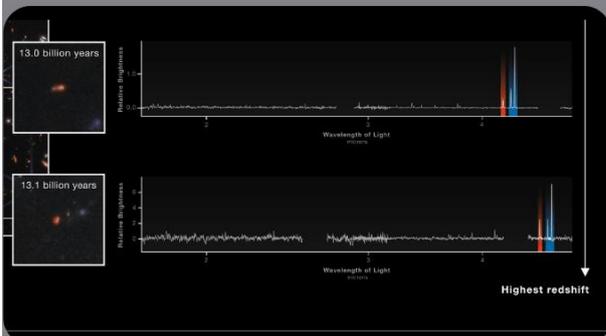
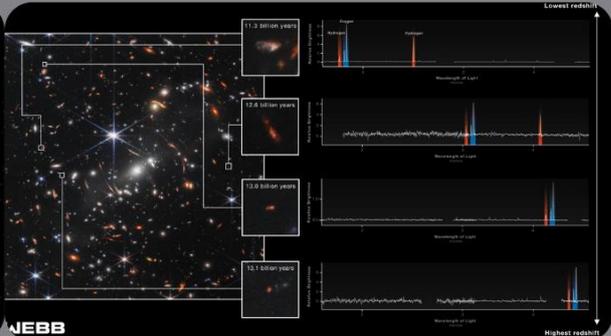
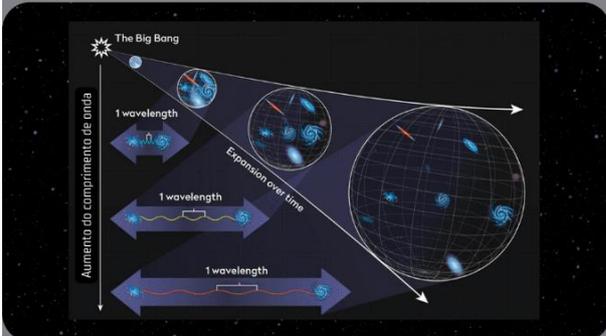
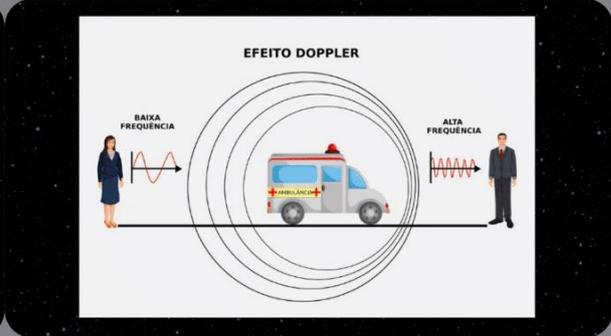
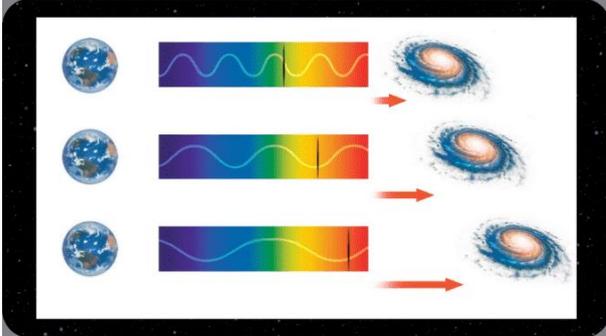
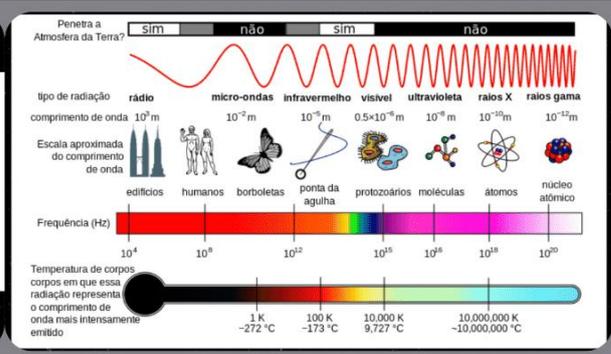
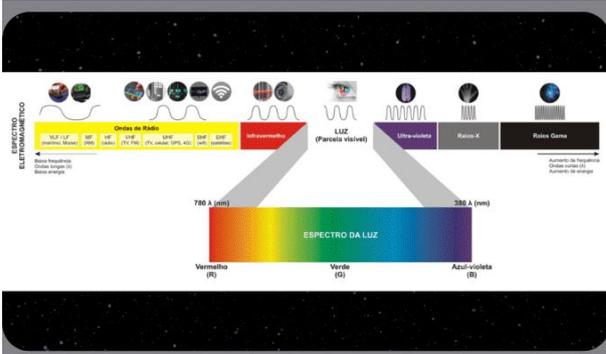
Redshift - afastamento observado através do espectro da luz para o vermelho

LUZ

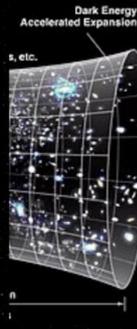
Comportamento dual onda partícula

Partícula

Onda

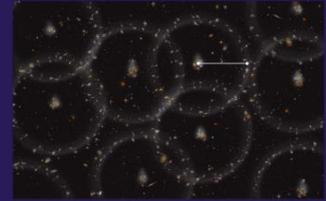


A partir das supernovas, pôde-se observar que a expansão do Universo está acelerando a **~5 bilhões de anos**



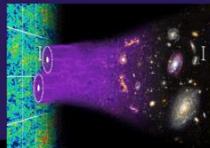
RADIAÇÃO CÔSMICA DE FUNDO

Mapeando precisamente as flutuações de temperatura com o avanço da tecnologia, pôde-se "observar" um universo "menos expandido" e assim se detectou um **Padrão de Oscilação Acústica Bariônica** - ondas sonoras



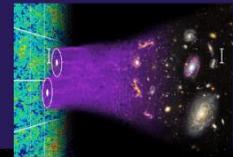
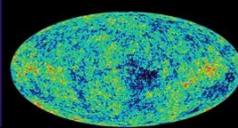
RADIAÇÃO CÔSMICA DE FUNDO

Ocorrem no fluido **fóton-bárion** inicial do Universo. Após o Big Bang, na medida que a gravidade da massa lutava com a pressão da radiação, padrões acústicos de ondas sonoras se propagavam através do plasma fluido resultado: **leves desequilíbrios em sua densidade**



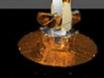
RADIAÇÃO CÔSMICA DE FUNDO

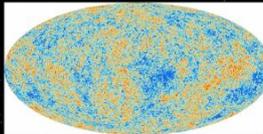
Plasma se condensou para formar átomos no momento em que a radiação cósmica de fundo foi criada, tendo que sua distribuição de densidade se manteve, levando a **áreas de massa maior**, refletidas nas áreas vermelhas e mais quentes, onde os átomos concentrados evoluíram para os aglomerados de galáxias.

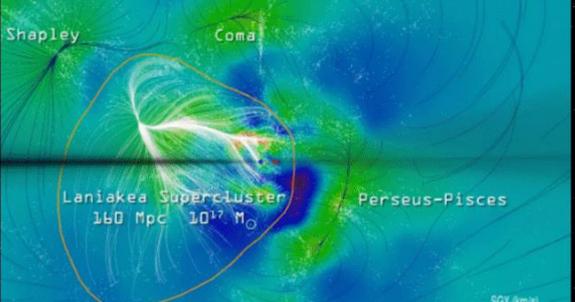


1955  Penzias and Wilson

1992  COBE

2003  WMAP

 **Satélite Plank 2013**

 Shapley Coma Laniakea Supercluster 160 Mpc 10¹⁷ M_☉ Perseus-Pisces SOX Amis

"OBSERVAÇÃO" DA ENERGIA ESCURA

AFASTAMENTO DAS GALÁXIAS- REDSHIFT

Medir a taxa de expansão acelerada

RADIAÇÃO CÔSMICA DE FUNDO

Régua padrão a partir das ondas acústicas bariônicas

MATÉRIA ESCURA



"Dunkle Materie"

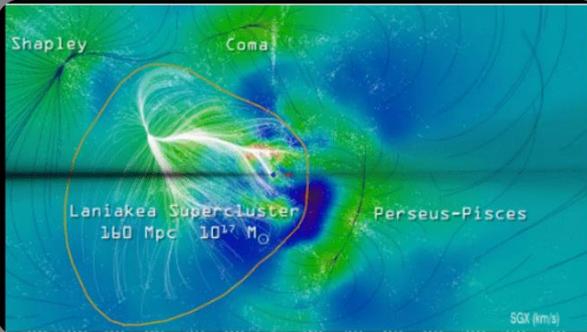


Fritz Zwicky
(1898-1974)
Astrônomo Suíço

1930



Fritz Zwicky estava observando o movimento das Galáxias no Superaglomerado de Coma



1933

Zwicky primeiro calculou a massa do aglomerado de Coma, M1, estudando a velocidade em sua borda.

Depois, comparou com o resultado da massa, M2, calculada a partir do brilho e o número de galáxias.



1933

Zwicky primeiro calculou a massa do aglomerado de Coma, M1, estudando a velocidade em sua borda.

Depois, comparou com o resultado da massa, M2, calculada a partir do brilho e o número de galáxias.

$M1 \neq M2$



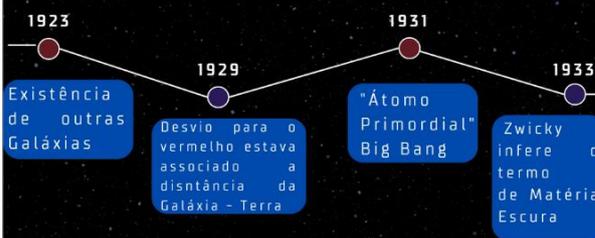
1933

Encontrando uma diferença de aproximadamente 100x, inferiu a necessidade de mais massa do que se poderia ver para manter o superaglomerado estável.

"Dunkle Materie"



RECAPITULANDO



1939



Horace Welton Babcock
(1912 - 2003)
Astrônomo EUA

Relatou que estrelas mais afastadas de Andrômeda tinham uma velocidade alta



1960 e 1962



Vera Cooper Rubin
(1928-2016)
Astrônoma EUA

1960 - também relata sobre as estrelas de Andrômeda;

1962 - Publica artigo sobre a velocidade das estrelas da Via Láctea se moverem tão rápido quanto as estrelas próximas ao buraco negro no centro.

1933~1970

Não se teve muita atenção da comunidade científica à Matéria Escura.



~1970



Vera Cooper Rubin
(1928-2016)
Astrônoma EUA

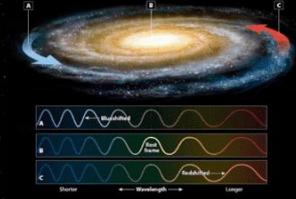


William Kent Ford
(1931 - vivo)
Astrônomo EUA

~1970

Rubin e Ford mapearam os braços espirais da Via Láctea e da Andrômeda, traçando as velocidades das estrelas orbitando o núcleo galáctico - em especial, estrelas mais afastadas do centro - onde a gravidade é menos intensa.

Measuring a galaxy's rotation



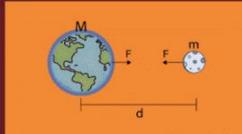
As a galaxy rotates, the material moving away from us shows a redshift in the wavelength of any emitted light (red arrow). Material moving toward us shows a blueshift (blue arrow). By measuring these shifts across a galaxy, astronomers can determine its rotation, [cosmic rotation](#)

~1970

Pela Lei da Gravitação de Newton:

Entre dois corpos massivos existe uma força atrativa que é proporcional ao produto da massa dos corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros de massa.

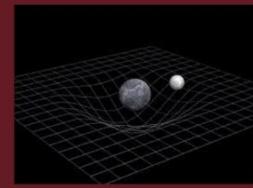
$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$



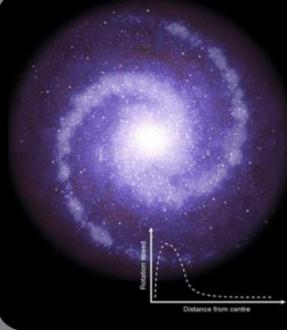
~1970

Pela Teoria da Relatividade de Einstein:

Há deformação do espaço-tempo devido a corpos pesados.



Em nosso Sistema Solar



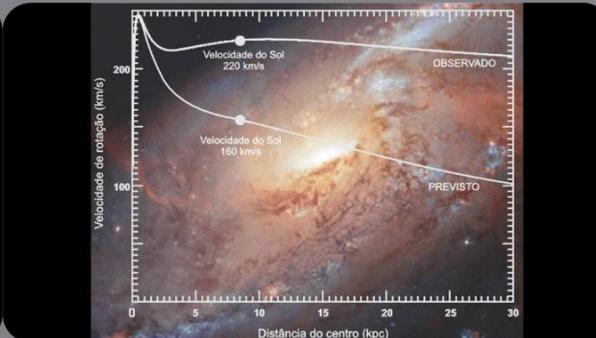
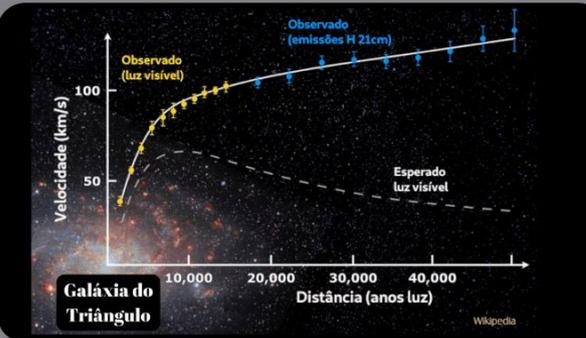
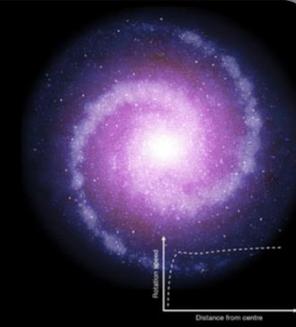
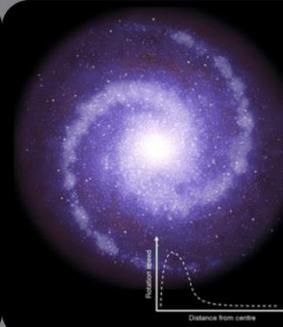
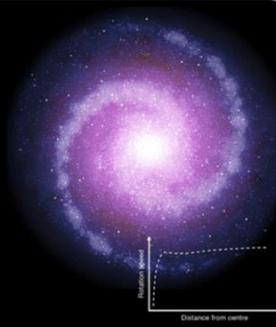
Esperado para a velocidade em relação a distância do centro da Galáxia.

Planeta	Distância ao Sol (UA)	Período de revolução (ano)
Mercúrio	0,39	0,24
Vênus	0,72	0,62
Terra	1,00	1,00
Marte	1,52	1,88
Júpiter	5,20	11,86
Saturno	9,54	29,46
Urano	19,18	84,07
Netuno	30,06	164,82



Porém, esse foi o observado.

As mais afastadas giram tão ou mais rápidas que as estrelas mais ao centro.



Se a Lei de Newton se aplica às galáxias, a explicação pela estabilidade dessas galáxias seria uma fonte de massa.

1978

Vera Rubin, Ford e outros cientistas publicam um artigo discutindo essa - massa perdida - com foco na rotação das galáxias, sendo uma proporção de **6:1**

Matéria Escura Matéria Comum

1989

"Acho que ninguém duvidou do fato de que as curvas de rotação eram planas - pelo menos na minha presença"

"A interpretação foi mais complicada. Acho que muitas pessoas inicialmente desejaram que você não precisasse de matéria escura. Não foi um conceito que as pessoas abraçaram com entusiasmo. Mas acho que as observações foram inegáveis o suficiente para que a maioria das pessoas o adotasse sem entusiasmo"

Vera Rubin em entrevista.

Foram realizadas inúmeras tentativas para se detectar a matéria escura, porém nenhuma foi bem sucedida, o que nos diz:

- Não interage eletromagneticamente ou interação extremamente fraca com a matéria comum;
- Pesada e grande;
- Não relativística

COMO OBSERVAR ALGO QUE É INVISÍVEL?

OBSERVAMOS SUA INTERAÇÃO

EFEITOS DA MATÉRIA ESCURA

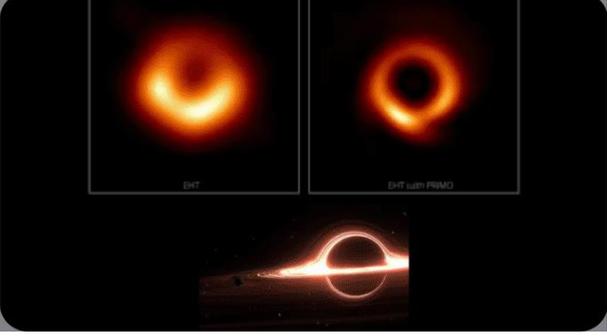
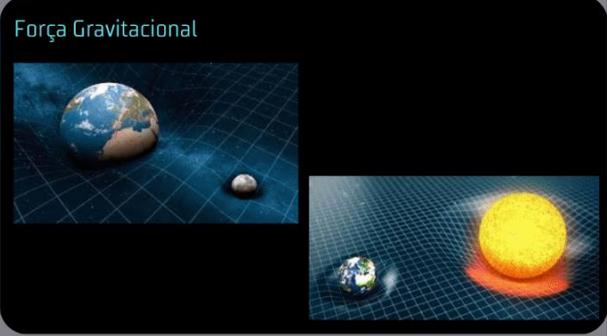
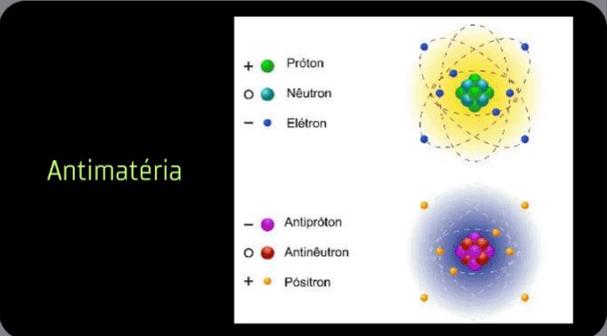
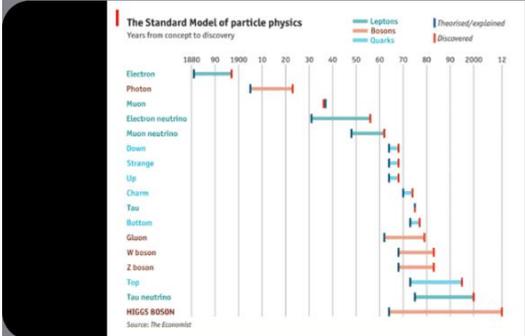
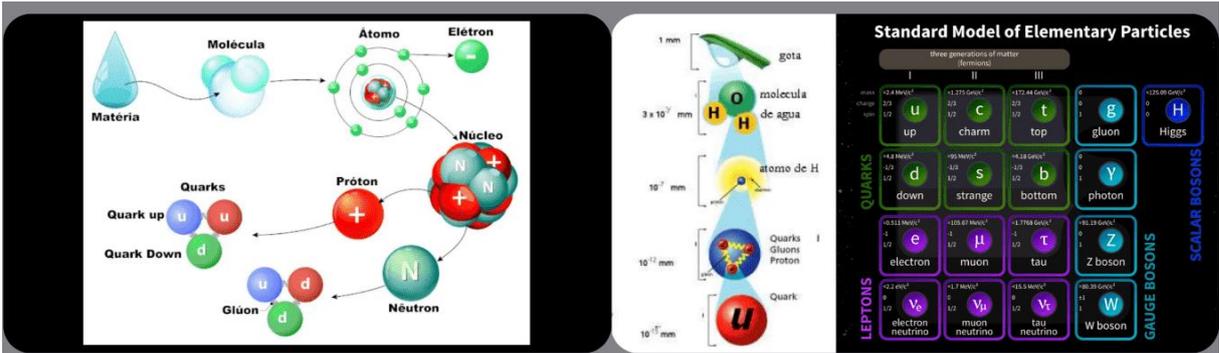
- Distribuição de velocidade e movimento das galáxias
- Espectro de Raio-X de Aglomerados
- Efeito de Lentes Gravitacionais - deformação que a massa de um aglomerado tem sobre a luz que passa por ele

DO QUE É FORMADA A MATÉRIA COMUM?

MASSIVE STARS: ENGINES OF CREATION

It is the final phase of formation and evolution of massive stars (at least 8 times bigger than our sun) produce the universe with new elements. The concentration of all observable matter, including life.

CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA BARIÔNICA



Força Eletromagnética

Força Eletromagnética

Bobina de Tesla
Gaiola de Faraday

Força Eletromagnética

Força Eletromagnética

Força Eletromagnética

Força Eletromagnética

Força Nuclear Fraca

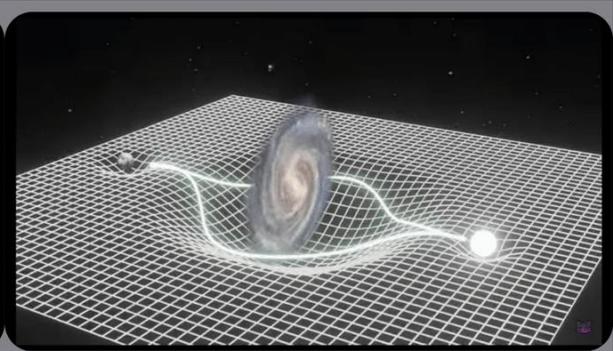
Força Nuclear Forte

O que seria
Matéria Escura
e como percebemos sua
interação?

Distribuição de
velocidade e
movimento de
Galáxias

Lentes Gravitacionais

Teoria da Relatividade de Einstein



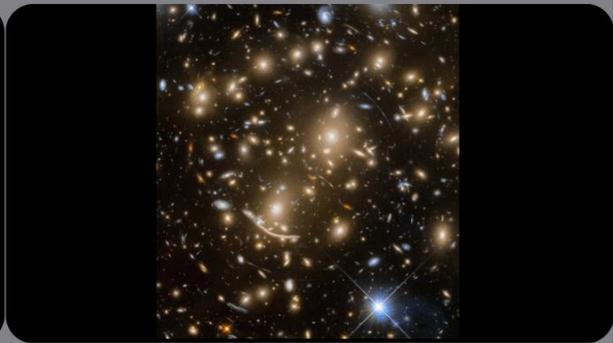
A lente gravitacional ocorre quando um objeto massivo em primeiro plano distorce o espaço ao seu redor, distorcendo a imagem de um objeto de fundo em **anéis, arcos ou múltiplos pontos de luz**.

LENTE GRAVITACIONAIS

Einstein Ring Gravitational Lenses Hubble Space Telescope • ACS

J073728.45+321618.5	J095629.77+510006.6	J120540.43+491029.3	J125028.25+052349.0
J140228.21+632133.5	J162746.44-005357.5	J163028.15+452036.2	J232120.93-093910.2

NASA, ESA, A. Bolton (Harvard-Smithsonian CfA), and the SLACS Team STScI-PRC05-32

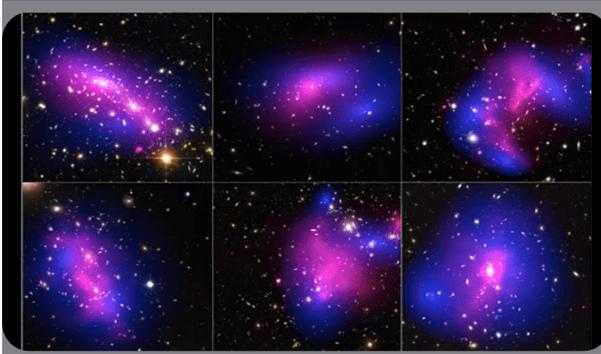


Espectro de Raio-X de Aglomerados de Galáxias

Bullet Cluster
Aglomerado Bala

Em **vermelho**, representando os **raios-X** emitidos por **gás quente** e **azul** representando a distribuição **sugerida de matéria escura separada**

Composição Hubble/Chandra/Magellan



Candidatos a Matéria Escura

WIMPs - Partícula massiva que interage fracamente

Interage pela **FORÇA FRACA** e **GRAVIDADE**

Teoria da Supersimetria

↪ Teoria que estende o Modelo Padrão da física de partículas.

WIMPs - Partícula massiva que interage fracamente

Interage pela **FORÇA FRACA** e **GRAVIDADE**

Teoria da Supersimetria

↪ Os WIMPs agem como suas próprias partículas de antimatéria. Quando dois WIMPs interagem, eles se aniquilam e liberam uma rajada de partículas secundárias, bem como raios gama.

WIMPs - Partícula massiva que interage fracamente

Interage pela **FORÇA FRACA** e **GRAVIDADE**

Axions

Interage pela **FORÇA FORTE** e **GRAVIDADE**

Possível partícula teórica, ainda não detectada, que manteria a simetria na Física de Partículas, descritas pelas leis de conservação do momentum linear, da energia e do momentum angular.

Neutrino Estéril

O que é um Neutrino?
Partícula elementar.

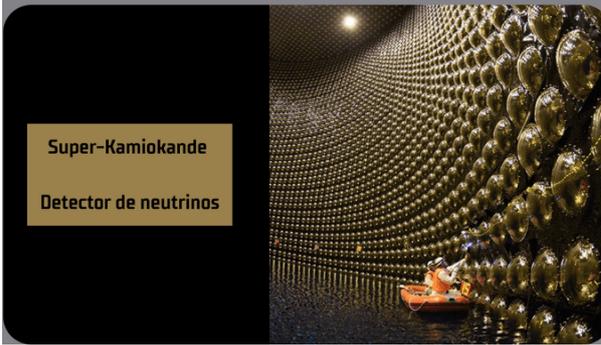
Faz parte das partículas previstas no Modelo Padrão das Partículas Elementares.

O que é uma partícula elementar?
Uma partícula que não contém nenhuma subestrutura.

Neutrino Estéril

Existem 3 tipos de neutrinos

Possuem carga zero;
Extremamente leves;
Interação extremamente baixa com a matéria



Super-Kamiokande
Detector de neutrinos

Neutrino Estéril

Interage pela GRAVIDADE

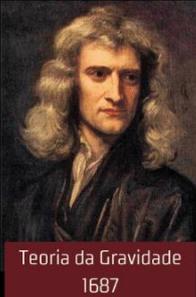
Existiria o Neutrino Estéril
Muito mais massivo.



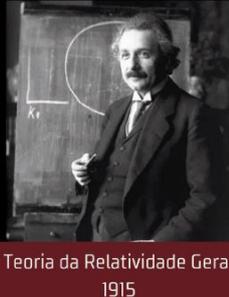
MOND - Modified Newtonian Dynamics

E se nem existir a Matéria Escura...

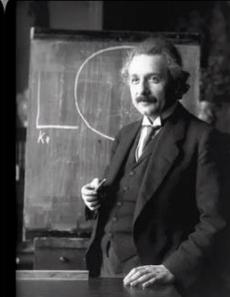
É o fim da gravidade de Newton?



Teoria da Gravidade
1687



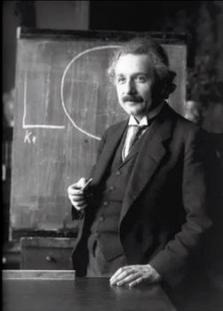
Teoria da Relatividade Geral
1915



Teoria da Relatividade Geral
de Einstein (1915)

Gravidade são distorções que
uma massa provoca em um
tecido espaço-tempo.

$$E = mc^2$$



Teoria da Relatividade Geral de Einstein

"Perdoe-me, Newton, você descobriu talvez o único caminho possível em sua época para um homem possuidor do mais alto raciocínio e poder criador. Os conceitos que você criou ainda hoje orientam nosso pensamento na física, mas sabemos que devem ser substituídos por outros afastados da experiência mais imediata, para uma compreensão mais profunda da natureza." (1946)

MOND - Modified Newtonian Dynamics

Teoria que prevê modificação da gravidade para baixa aceleração em grandes escalas.

Explica a dinâmica de Rotação das Galáxias ✓

MOND - Modified Newtonian Dynamics

Teoria que prevê modificação da gravidade para baixa aceleração em grandes escalas.

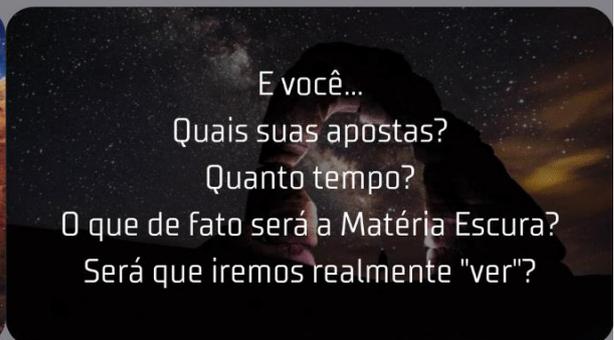
Explica a dinâmica de Rotação das Galáxias ✓

Não explica o efeito das Lentes Gravitacionais, nem o Aglomerado Bala ✗

A busca continua...



Valendo um Nobel...



E você...
Quais suas apostas?
Quanto tempo?
O que de fato será a Matéria Escura?
Será que iremos realmente "ver"?

9) Você tem alguma ideia de como as teorias da Física e o conhecimento são adquiridos? As leis da Física você entende que são imutáveis, quer dizer, uma vez estabelecidas não podem mudar ou o conhecimento já estabelecido pode sofrer alguma alteração?



"Através de pesquisa, caso seja descoberto algo que refute uma lei da física, ela pode mudar."

"Pode sofrer alterações, como já foi provado."



"São adequados por meio de estudos aprofundados. Pode sofrer alterações."

"Entendo que o Universo está em constante processo."



"É muito difícil mudar, a ciência demorou anos para tudo isso."

"Por meio da observação e experimentos. Acredito que de acordo com os novos conhecimentos adquiridos podem ser questionadas leis anteriores."



"Tenho, e podem ser mudadas talvez com o avanço da tecnologia ou até da sociedade."

"Sim, pela minha percepção é de que são fatos comprovados cientificamente e matematicamente, com muita pesquisa, então é algo de confiança."



"Não, mas acredito que com o tempo e com estudos aprofundados as teorias podem mudar."

"Não tenho ideia, eu acho que não pode sofrer alterações."



E você...
Quais suas apostas?
Quanto tempo?
O que de fato será a Matéria Escura?
Será que iremos realmente "ver"?