

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA  
MESTRADO PROFISSIONAL**

**DIEGO CORRÊA PERES DE SOUZA**

**O PROBLEMA DA MATÉRIA ESCURA: ASTROFÍSICA CONTEMPORÂNEA NO  
ENSINO DE FÍSICA**

**CAXIAS DO SUL, RS  
OUTUBRO  
2024**

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**O PROBLEMA DA MATÉRIA ESCURA: ASTROFÍSICA CONTEMPORÂNEA NO  
ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Caxias do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. Francisco Catelli como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

**CAXIAS DO SUL**  
**2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Caxias do Sul  
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

S729p Souza, Diego Corrêa Peres de  
O problema da matéria escura [recurso eletrônico] : astrofísica contemporânea no ensino de física / Diego Corrêa Peres de Souza. – 2024.  
Dados eletrônicos.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, 2024.  
Orientação: Francisco Catelli.  
Modo de acesso: World Wide Web  
Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>  
1. Física - Estudo e ensino. 2. Física (Ensino médio). 3. Aprendizagem. I. Catelli, Francisco, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 53:37

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)  
Carolina Machado Quadros - CRB 10/2236

**DIEGO CORRÊA PERES DE SOUZA**

**O PROBLEMA DA MATÉRIA ESCURA: ASTROFÍSICA CONTEMPORÂNEA NO  
ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Caxias do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

**Aprovado em 17/10/2024**

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Francisco Catelli  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Dr. Odilon Giovannini Jr.  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Dr. Ricardo Roberto Plaza Teixeira  
Instituto Federal de São Paulo - IFSP

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão àqueles que tornaram este trabalho possível.

Primeiramente, agradeço imensamente à minha família pelo apoio incondicional e pela paciência ao longo desta jornada acadêmica. Obrigado ao meu pai, Elpidio Peres de Souza, e à minha mãe, Josekelly Corrêa Peres de Souza, por sempre acreditarem em mim e me incentivarem a seguir meus sonhos. Agradeço também aos meus irmãos, Danilo Corrêa Peres de Souza e Danielle Corrêa Peres de Souza, pelo incentivo constante e pelo apoio emocional que me forneceram.

Agradeço de forma especial ao meu orientador, Professor doutor Francisco Catelli, pela sua orientação, paciência e valiosas contribuições ao longo deste trabalho. Sua expertise e abordagem foram fundamentais para a conclusão deste projeto.

Agradeço também ao Professor Doutor Ricardo Teixeira Plaza, que foi meu professor durante a graduação. Suas aulas inspiradoras e seu entusiasmo pelo conhecimento tiveram um impacto profundo em minha formação acadêmica sendo a primeira pessoa a me incentivar a pesquisar sobre o tema desta dissertação.

A todos, minha mais profunda gratidão.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma pesquisa que investiga como uma sequência didática focada na apresentação e discussão sobre matéria escura nos processos de ensino-aprendizagem em aulas de física do Ensino Médio pode influenciar no entendimento de alguns conceitos de física básica. Para fundamentar teoricamente esta dissertação, foram utilizadas as ideias de Gaston Bachelard, especialmente os conceitos de perfil epistemológico e obstáculos epistemológicos. A sequência didática foi aplicada em uma turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública em Flores da Cunha, Rio Grande do Sul. A análise dos resultados permitiu a elaboração de uma versão aprimorada da sequência didática resultando no produto educacional desta dissertação. Os resultados indicam um potencial positivo significativo para a implementação da temática da matéria escura em discussões no nível de Ensino Médio.

**Palavras-chave: matéria escura; ensino de física; ensino médio.**

## **ABSTRACT**

This work presents a research study that investigates how a didactic sequence focused on the presentation and discussion of dark matter in teaching-learning processes in high school physics classes can influence the understanding of some basic physics concepts. To theoretically support this dissertation, the ideas of Gaston Bachelard were used, especially the concepts of epistemological profile and epistemological obstacles. The didactic sequence was applied in a third-year high school class at a public school in Flores da Cunha, Rio Grande do Sul. The analysis of the results led to the development of an improved version of the didactic sequence, resulting in the educational product of this dissertation. The results indicate a significant positive potential for the implementation of the theme of dark matter in discussions at the high school level."

**Keywords: Dark matter; physics teaching; high school**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Racionalismo aplicado</b>	<b>11</b>
<b>2.2. A física da matéria escura</b>	<b>16</b>
<i>2.2.1. A curva de rotação de corpos</i>	<i>17</i>
<i>2.2.2. Outras perspectivas com relação a matéria escura</i>	<i>21</i>
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Caracterização da pesquisa</b>	<b>24</b>
<b>3.2. Contexto da pesquisa</b>	<b>24</b>
<b>3.3. Instrumentos de coleta de dados</b>	<b>25</b>
<b>3.4. Técnicas de análise de dados</b>	<b>25</b>
<b>3.5. Desenvolvimento da pesquisa</b>	<b>26</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Concepções prévias</b>	<b>34</b>
<b>4.2. Jigsaw e estudos sobre relações entre força centrípeta e força gravitacional</b>	<b>42</b>
<b>4.3. Modelo exploratório e análises de gráficos</b>	<b>44</b>
<b>4.4. Apresentação sobre matéria escura</b>	<b>47</b>
<b>4.5. Texto dissertativo</b>	<b>51</b>
<b>4.6. Rupturas entre os obstáculos epistemológicos e filosofias do perfil epistemológico</b>	<b>52</b>
<b>5. PRODUTO EDUCACIONAL</b>	<b>53</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>54</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>56</b>
<b>8. APÊNDICE A</b>	<b>59</b>
<b>9. APÊNDICE B</b>	<b>63</b>
<b>10. APÊNDICE C (Produto Educacional)</b>	<b>66</b>
<b>11. ANEXO A</b>	<b>93</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Observações astronômicas e cosmológicas desempenharam um papel fundamental para a formação das sociedades humanas, sendo eles parte inseparável da cultura produzida pela humanidade ao longo de milhares de anos, demonstrando a existência de uma curiosidade intrínseca do ser humano com relação ao Universo (DAMINELI; STEINER, 2010). Deste modo, é um tema que normalmente chama atenção dos mais variados públicos.

Um dos principais desafios existentes na cosmologia moderna para consolidação do Modelo Cosmológico Padrão (modelo mais aceito entre os cientistas sobre origem e formação do Universo) está atrelado a uma caracterização bem definida sobre a natureza da Matéria Escura e Energia Escura que formam o que se chama de “setor escuro” (LANDIM, 2017).

Os estudos relacionados ao setor escuro permearão as discussões relacionadas à física, cosmologia, astronomia e astrofísica a partir dos avanços nas observações experimentais e pressupostos teóricos relacionados a ele, deste modo, sendo um tema com necessidade de destaque na divulgação científica (GUSMÃO, 2017; DORSCH, 2021.)

Para Souza e Teixeira (2021) a utilização de temas de Fronteira da Ciência propiciam um considerável interesse nos estudos por parte dos alunos do Ensino Médio, evidenciando que temas como a matéria escura (uma das componentes do setor escuro) podem ser utilizados para trabalhar conceitos físicos no Ensino Médio e conseqüentemente melhorar os processos de ensino aprendizagem (CIRILLO, 2021).

Sagan (1996) em seu livro "O Mundo assombrado pelos demônios" faz críticas ao não conhecimento do método científico das grandes massas e aponta para a necessidade de disseminação desse conceito. Como demonstrado nos tempos da pandemia causada pela COVID - 19 ainda existe pouco entendimento sobre os processos metodológicos da ciência.

Diante desta problemática de estabelecer um processo educacional que proporcione uma formação mais crítica aos estudantes do Ensino Médio, torna-se necessária a busca de metodologias e abordagens que, ao serem desenvolvidas, possibilitem atingir tal condição. Além disso, segundo Alvarenga, Neto e Coelho (2022), a Física, discutida nos níveis básicos de ensino, é incompatível com uma característica primordial da ciência, que é a de estar em constante evolução. Atualmente, a Física em nível médio se ocupa somente de conteúdos do período clássico, deixando de abordar conceitos relevantes do mundo contemporâneo. Não se trata aqui, bem entendido, de propor que a Física Clássica não seja trabalhada no nível médio. Ao contrário, ela é de suma importância para a compreensão de aspectos da Física Contemporânea, visto que antecede o conhecimento físico produzido predominantemente nos séculos XX e XXI. Uma

observação de cunho epistemológico deve, entretanto, ser feita: ao afirmar que a Física clássica antecede a Física contemporânea, não implica afirmar que a segunda é derivada da primeira. Ao contrário, para que a Física contemporânea se estabeleça, é necessária uma verdadeira ruptura, uma “quebra de paradigma”.

Em segundo lugar, mas não menos importante, vem a questão da legislação: os conteúdos da Física clássica são pré-determinados pelas normas de educação (BNCC) portanto, devem ser abordados (SOUZA; TEIXEIRA, 2021). A BNCC (2018) estabelece dois conceitos que devem ser desenvolvidos que são as Competências, um conjunto de recursos para atender a uma demanda e as Habilidades, que transformam conhecimento em ações.

A competência 2, relacionada às ciências da natureza da BNCC (2018) para o Ensino Médio prescreve “Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo e fundamentar decisões éticas e responsáveis” (BRASIL, pag. 542, 2018). Segundo a BNCC (2018), o desenvolvimento dessa competência permitirá os alunos reconhecerem que os processos de transformação e evolução permeiam a natureza ocorrem nos mais variados âmbitos, desde as moléculas às estrelas, em diferentes escalas de tempo. Com isso, é possível oportunizar reflexões que situem a humanidade e o planeta Terra na história do Universo, bem como inteirar-se da evolução histórica dos conceitos científicos.

Com relação a algumas habilidades relacionadas a essa competência da BNCC a ser desenvolvida temos: “(EM13CNT204) Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais e (EM13CNT205) Utilizar noções de probabilidade e incerteza para interpretar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, reconhecendo os limites explicativos das ciências” (BRASIL, pag. 543, 2018).

Então, uma alternativa para contemplar estas competências e habilidades da BNCC (2018) e o desenvolvimento de conceitos contemporâneos da ciência seria, então, uma proposta metodológica que promovesse a intersecção entre o problema da matéria escura e a contrapartida clássica, que envolveria o movimento circular e as forças centrais (que ocorrem tipicamente entre dois corpos celestes, e configuram a assim chamada “gravitação newtoniana”). Estas competências e habilidades são justamente aquelas prescritas pela BNCC (2018) (SOUZA; TEIXEIRA; 2021). Portanto, explorar a pesquisa relacionada à matéria escura em nível médio possibilita aliar um duplo interesse: trabalhar conteúdos científicos contemporâneos no Ensino Médio e desenvolver concomitantemente conceitos pré-determinados pelas normas de educação (BNCC) para esse nível de Educação.

Mas, talvez o maior dividendo tenha uma aparência mais singela: “saciar” a sede dos estudantes a respeito de assuntos que, com alguma frequência, frequentam os canais de comunicação e as mídias digitais. (Incidentalmente, o Prêmio Nobel de Física de 2011 foi concedido a três pesquisadores, pela descoberta da expansão acelerada do Universo. E o curioso é que esta expansão acelerada está ancorada na existência do setor escuro).

Pretende-se então, neste trabalho, promover o desenvolvimento de conhecimentos científicos trabalhados nas aulas de física do Ensino Médio por meio da utilização das relações proporcionadas pelo debate científico que envolve a matéria escura com o conteúdo programático de sala de aula. Com isso, uma transposição didática sobre este tema torna-se viável, destacando em especial divergências entre teoria e observação que ocorreram ao longo da história, no contexto da mecânica newtoniana, pondo em relevo o quanto estas divergências foram importantes para o desenvolvimento científico (PRAIA; CACHAPUZ; GIL-PÉREZ, 2002). Desta maneira, pretende-se apresentar aos estudantes a ideia de que a ciência está sempre em processo de evolução e que também existem debates nos dias atuais como, por exemplo, os problemas do Setor Escuro.

Será usado esse fato como suporte para a investigação das diferentes interpretações existentes para a suposta existência de matéria escura no Universo. Portanto, espera-se que seja possível averiguar se a inserção deste debate relacionado à astrofísica atual pode auxiliar no desenvolvimento de conhecimentos científicos trabalhados com alunos do Ensino Médio, desde a concepção da natureza da ciência como também em conhecimentos próprios da física deste nível de ensino.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente trabalho busca seguir os conhecimentos ligados ao racionalismo aplicado, epistemologia cujo estruturador foi o filósofo e poeta Gaston Bachelard, sendo ele, portanto, o principal referencial teórico desta dissertação. Nesta seção também serão abordadas algumas questões relacionadas à física da matéria escura bem como os desdobramentos históricos ligados ao tema, dando destaque, de forma sucinta, e em nível introdutório, aos principais resultados das pesquisas efetuadas por Vera Rubin e Fritz Zwicky.

### 2.1. Racionalismo aplicado

Grande parte da filosofia da ciência desenvolvida por, principalmente, Bachelard, Popper, Kuhn e Feyerabend, está ligada ao desenvolvimento da Física Contemporânea tendo, cada um, suas visões peculiares com relação ao entendimento da evolução das teorias físicas. Bachelard, influenciado pelo advento da Relatividade e da Física Quântica, apresenta reflexões pedagógicas que se mostram relevantes no desafio que é a inserção desses temas no Ensino Médio, contemplando diferentes formas de pensar e de lidar com as concepções pré-existentes enfrentadas pelo estudante (PINTO; ZANETIC, 1999).

O racionalismo aplicado, epistemologia cujo principal estruturador foi o filósofo e poeta Gaston Bachelard, está ligado a uma análise crítica onde os experimentos não estariam vazios de concepções teóricas, sendo assim, a metodologia escolhida por determinada prática estaria sendo mediada pela racionalidade, partindo do racional para o real. Deste modo, ele reforça a ideia de que a ciência é construída por meio do pensamento racional, que sempre está evoluindo, não sendo portanto um produto acabado e pronto, mediado pelos sentidos (ESSER; SHNEIDER; PEREIRA, 2021).

Um exemplo histórico dessa relação (racional para o real) pode ser analisado no contexto da teoria da relatividade, que primeiro foi concebida por meio de ideias mediadas pela extrapolação da realidade e conceitos existentes na época por Einstein. Seus efeitos foram primeiro imaginados e intermediados pela razão e somente depois vislumbrados os efeitos previstos na realidade (eclipse de Sobral<sup>1</sup>).

---

<sup>1</sup>De acordo com a teoria da relatividade de Einstein, a gravidade do Sol deveria curvar a luz das estrelas, um efeito que só poderia ser observado durante um eclipse solar total, quando o brilho do Sol é obscurecido. Durante o eclipse de 29 de maio de 1919, em Sobral, alguns cientistas mediram a posição aparente das estrelas próximas ao Sol e compararam com suas posições quando o Sol estava em outra parte do céu. As observações confirmaram a previsão de Einstein de que a luz seria desviada pela gravidade do Sol, validando a Relatividade Geral e mostrando que a gravidade pode curvar o espaço-tempo (DAMASIO; LORENZETTI; RAICIK, 2020).

Outro exemplo que denota a importância de processos racionais no desenvolvimento da ciência advém da teoria atômica que partiu de uma ideia abstrata dos gregos, o “átomo”, uma partícula “indivisível”. Mas, mesmo assim, imaginaram, através do recurso à uma certa racionalidade, estas partículas indivisíveis, que formariam toda a matéria. Essa ideia evoluiu para teorias cada vez mais complexas, passando pelo modelo de pudim de passas, o átomo de Bohr, etc, ( PEDUZZI, 2015).

Bachelard (1978) propõe, então, um caminho para como poderia ter-se dado, racionalmente, a construção da ciência e de determinados conceitos, como, por exemplo, a massa, que vai da concepção mais primitiva relacionada a uma interpretação um tanto literal das observações, a um pensamento mais sofisticado, cada vez mais impregnado de racionalidade. Esse aspecto segundo o qual um conceito vai gradualmente adquirindo camadas mais complexas denota uma forma de pensar que o autor chama de perfil epistemológico.

A ideia norteadora relacionada ao perfil epistemológico consiste em uma síntese dialética que, segundo Bachelard, permite negar um conceito e partir para outro, por um caminho metafísico. De acordo com Esser (2021), esses diferentes caminhos são:

- ***Realismo ingênuo:*** Relacionado ao senso comum, em que as explicações para a natureza e seus fenômenos partem da observação, sem qualquer reflexão.
- ***Empirismo claro e positivista:*** está centrado no princípio da verificação experimental fornecendo uma determinação objetiva, porém limitada, do objeto de estudo.
- ***Racionalismo clássico:*** a elaboração de um conceito parte de alguma teoria estabelecida, sendo o uso da razão complemento aos experimentos (Estudos de Galileu, Newton, etc)
- ***Racionalismo complexo:*** Quando existe um aumento do grau de abstração e complexidade. Os conceitos da física moderna e contemporânea, como a quantização da energia, enquadram-se neste aspecto.
- ***Racionalismo dialético:*** é o racionalismo com base na probabilidade, em que o pensamento vai além do racional. Os exemplos mais ilustrativos provêm de conceitos relacionados à mecânica quântica.

A evolução de uma concepção científica é um movimento que atravessa todas estas doutrinas, em geral, na ordem indicada acima. O perfil epistemológico consiste em ideologias que embasam o conhecimento, tendo cada indivíduo uma visão filosófica que o norteia, visão esta influenciada pelas experiências vividas, contextos sociais e/ou crenças (BACHELARD, 1978).

Com isso em mente, o próprio Bachelard (1978), para mostrar o que estava propondo, elaborou um gráfico de barras, para o perfil epistemológico do seu conceito de massa e energia.

Para representar as filosofias, ele as ordena no eixo horizontal, em ordem crescente, da esquerda para a direita, de complexidade racional. As alturas das barras (eixo vertical) representam a importância relativa com relação ao conceito. Na figura 1, pode-se observar como o autor descreve seu perfil epistemológico para o conceito de massa.

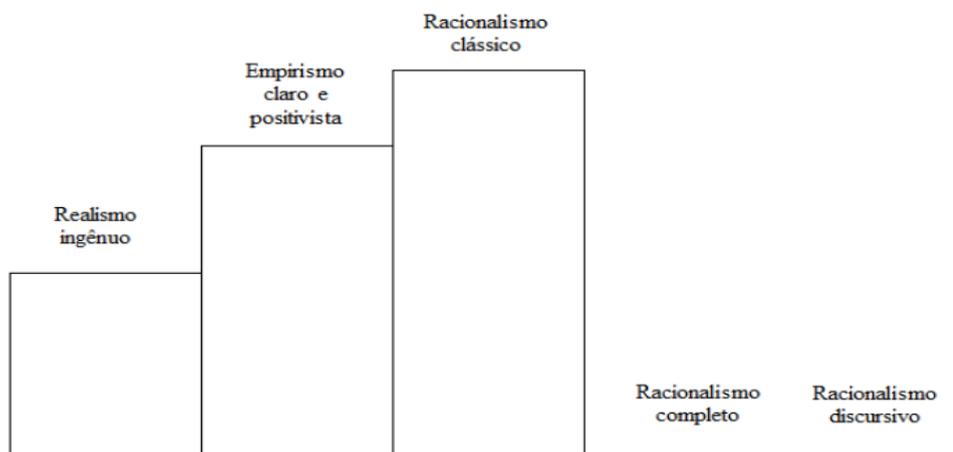
**Figura 1** - Perfil epistemológico associado à noção de massa de Bachelard



Fonte: Bachelard, 1972, p. 25

Realizando análises referentes ao que indivíduos possuem como ideia de determinado conceito, torna-se então possível traçar perfis epistemológicos para qualquer um. Apesar de Bachelard ressaltar que o perfil epistemológico do conceito é individual, sendo influenciado pelas vivências, contexto social ou crenças e que ainda, pode ser diferente para uma mesma pessoa, dado o momento em que o espírito científico está se desenvolvendo é possível aplicar essa ideia em contextos diferentes, como fizeram Dorigon, Miola, Carvalho, Della Justina e Leite (2019) traçando o perfil epistemológico de livros didáticos com relação ao conceitos de transformações. Na figura 2, pode-se observar um dos perfis analisados para um dos livros que os autores analisaram.

**Figura 2** - Perfil epistemológico para o conceito de transformações de um livro didático de química para o Ensino Médio



Fonte: Dorigon; Miola; Carvalho; Della Justina; e Leite, 2019 p. 7

Analisando este gráfico é possível observar que, mesmo para livros didáticos trabalhados no ensino médio, os autores não conseguiram identificar traços do racionalismo completo ou do racionalismo discursivo. Apenas em um dos livros (não o trazido na figura 2) foram percebidos atributos relacionados ao racionalismo completo mas em nenhum o racionalismo discursivo. Uma característica importante observada é que todos os livros analisados têm uma maior significância dentro filosofia do racionalismo clássico.

Para uma análise mais profunda dos perfis epistemológicos, Bachelard elabora, em seu livro “A formação do espírito científico”, o conceito dos obstáculos epistemológicos analisando o progresso da ciência de maneira histórica e social, destacando o lado racionalista, histórico e dialético dela. Para um aprofundamento entre as filosofias dos perfis epistemológicos seria necessária a superação dos obstáculos epistemológicos (RAMOS; SCARINCI, 2013) (ESSER; SHNEIDER; PEREIRA, 2021).

A construção dos conceitos científicos e a evolução do lado cognitivo do indivíduo acontece quando existe a superação destes obstáculos, que são de natureza epistemológica. Estes obstáculos surgem por meio da relação dos indivíduos com o objeto de conhecimento, e são obstáculos na medida em que dificultam a abstração e a objetivação dos conceitos e o desenvolvimento cognitivo ou a reflexão sobre determinado conceito (BACHELARD, 1996).

Bachelard (1996) qualifica hierarquicamente zonas de um perfil, que apresenta as diferentes interpretações de um mesmo conceito vinculadas às doutrinas filosóficas listadas anteriormente com relação ao perfil epistemológico. Segundo Ramos e Scarinci (2013) essa qualificação é representada por:

**1. Experiência ou observação primeira:** Relacionado a sensações causadas em uma primeira impressão de um fato, sem reflexão ou procura de entendimento mais profundo sobre a observação realizada. As concepções são fundamentadas no senso comum.

**2. Conhecimento geral:** Quando se busca entendimento dos fenômenos a partir de uma lei ou conceito geral, que podem limitar a imaginação, bem como a emergência de novas perspectivas. Não estar aberto a uma nova compreensão, a partir do pensamento racional, vai em contrassenso ao espírito científico, pois os modelos científicos sofrem constantes revoluções e ressignificações.

**3. Verbal:** Atribuir imagens, ações ou palavras a fim de que possibilitem metáforas para um conceito. Isso faz com que exista uma compreensão não abstrata de conceitos abstratos, que, entretanto, deveriam se afastar do que é conhecido ou concreto.

**4. Substancialismo:** É constituído por impressões distantes e até opostas a determinado conceito. Por uma tendência quase natural, o espírito pré-científico coloca num conceito todos os conhecimentos que ele desempenha, atribuindo-lhe qualidades sem que necessariamente ele as tenha. Por exemplo, quando se diz que algo é lento ou rápido, quente ou frio, essas são características que não são próprias do objeto, mas emergem, na verdade, da comparação dele com algum outro. Nada impede de um cubo de gelo ser quente ou uma jarra de água fervente ser fria, basta analisar com qual outro objeto eles estão sendo comparados.

**5. Obstáculo Animista:** Quando se atribui ações de vida a objetos ou conceitos inanimados, ou seja, explicações por meio de analogias de variados fenômenos a aspectos do comportamento humano. Esse obstáculo faz com que características vitais sejam arbitrariamente atribuídas a objetos inanimados, em detrimento do valor fenomenológico analisado.

Segundo Ramos e Scarinci (2013) os obstáculos epistemológicos nunca serão definitivamente suplantados, uma vez que o espírito científico está relacionado com seus conhecimentos anteriores, nunca sendo uma folha em branco, ou seja, sempre existirão ideias pré-concebidas devido à familiaridade de determinadas imagens, à certeza das primeiras ideias, etc. Idealmente, uma abertura deveria ser propiciada para o debate de novas conjecturas, que surgiriam mediadas pela racionalidade (Bachelard, 1996). Portanto, um novo conhecimento deve ser aplicado à realidade sendo dialético com referência a conhecimentos anteriores, procurando contradições entre eles e a realidade, podendo assim causar “rupturas” e, portanto,

modificando-os e atualizando-os de maneira tal que eles se tornem mais complexos. Assim sendo, a ciência, na visão de Bachelard, não é um produto acabado, estando, de fato, em um processo contínuo de ressignificações, mediadas pela razão.

## 2.2. A física da matéria escura

As primeiras evidências sobre a possível existência da matéria escura foram encontradas no trabalho, publicado em 1933, do astrônomo Fritz Zwicky (1898-1974). Ele realizou medidas de duas maneiras distintas sobre a massa do aglomerado de galáxias de Coma. Primeiro usando a relação massa-luminosidade e depois usando o Teorema do Virial (GUSMÃO, 2017).

O Teorema do Virial estabelece uma relação entre energia cinética e energia potencial gravitacional em um dado sistema. Estando ele em equilíbrio dinâmico, pode-se escrever que:

$$2 \langle E_c \rangle + \langle E_p \rangle = 0, \quad (1)$$

onde,  $\langle E_c \rangle$  e  $\langle E_p \rangle$  seriam as energias potencial e cinética médias (em relação ao tempo) do sistema. Ao considerar um sistema invariante no tempo, a equação (1) torna-se:

$$2E_c + E_p = 0. \quad (2)$$

Considerando para um aglomerado de galáxias uma distribuição esférica, (Soja, 2016) temos que:

$$E_c = \frac{1}{2} \sum m_i v_i^2 = \frac{1}{2} M \langle v^2 \rangle, \quad (3)$$

$$E_p = - \frac{GM}{R}, \quad (4)$$

onde,  $m_i$  e  $v_i$  são, respectivamente massas e velocidades individuais de cada galáxia do aglomerado,  $M$  é a massa total do aglomerado,  $R$  o raio do aglomerado,  $\langle v^2 \rangle$  a média do quadrado das velocidades orbitais individuais das galáxias de um dado aglomerado, e  $G$  a constante gravitacional. Fazendo uso das equações (4), (3) e (2) e as devidas manipulações algébricas, obtém-se:

$$M = \frac{R\langle v^2 \rangle}{G} . \quad (5)$$

Soja (2016) mostra que para se obter uma estimativa da massa de um aglomerado de galáxias não bastaria apenas aplicar a equação (5), pois apesar de parecer que  $R$  e  $\langle v^2 \rangle$  são grandezas possíveis de serem observadas, elas não são medidas realizadas de maneira direta. Deste modo, são necessárias algumas aproximações e considerações para se fazer este tipo de estudo (para uma maior compreensão, ver: SOJA 2016, p. 65).

Apesar de não ser utilizada a equação (5) diretamente, fica entendido de uma maneira qualitativa que com a aplicação do Teorema do Virial em um aglomerado de galáxias, é possível se obter uma estimativa a respeito de sua massa e com isso comparar essa medida com a medida a respeito da luminosidade proveniente dele.

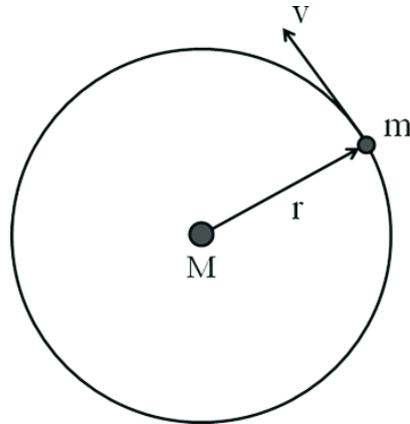
Zwicky (1933) mostrou que a massa estimada por meio do método decorrente do Teorema do Virial era cerca de 400 vezes maior que a massa observada pela luminosidade proveniente do aglomerado de Coma, portanto, sendo o primeiro indício da existência de uma “matéria faltante” nas galáxias, que ficou conhecida como matéria escura. Alguns anos depois, ao estudar o aglomerado de Virgem (Virgo), o astrônomo Sinclair Smith (1899-1938) chegou a resultados semelhantes aos obtidos por Zwicky para o aglomerado de Coma (XIMENES, 2016; SOUZA e TEIXEIRA, 2021).

O problema detectado por Zwicky foi de certa forma ignorado por várias décadas, tornando-se uma espécie de curiosidade que ainda precisaria ser resolvida em algum momento futuro (RUBIN, 2006). Essa questão só voltou a ser enfrentada pela comunidade científica nos anos de 1970, pela astrônoma Vera Cooper Rubin (1928- 2016) e sua equipe.

### ***2.2.1. A curva de rotação de corpos***

A velocidade orbital de objetos pode ser estimada por meio de considerações envolvendo a segunda lei de Newton, força centrípeta e gravitacional que envolve um sistema ligado gravitacionalmente. Um sistema desse tipo contendo dois objetos ( $M$  e  $m$ ) pode ser observado na Figura 3.

**Figura 3** – Sistema onde o objeto  $m$  está orbitando o objeto  $M$  a uma distância  $r$ .



Como os corpos estão em uma interação gravitacional e  $m$  faz um movimento aproximadamente circular em torno de  $M$ , é possível dizer que o módulo da força centrípeta em  $m$  é igual ao módulo da força gravitacional que liga os dois objetos, em sistemas como os da Figura 3. Caso a massa de  $M$  seja consideravelmente maior que  $m$  ( $M \gg m$ ), é factível considerar que o centro gravitacional do sistema é o próprio centro de  $M$ . Deste modo, e fazendo as devidas manipulações algébricas a partir da igualdade entre força centrípeta e força gravitacional, a velocidade orbital ( $v$ ) de  $m$  é dada por:

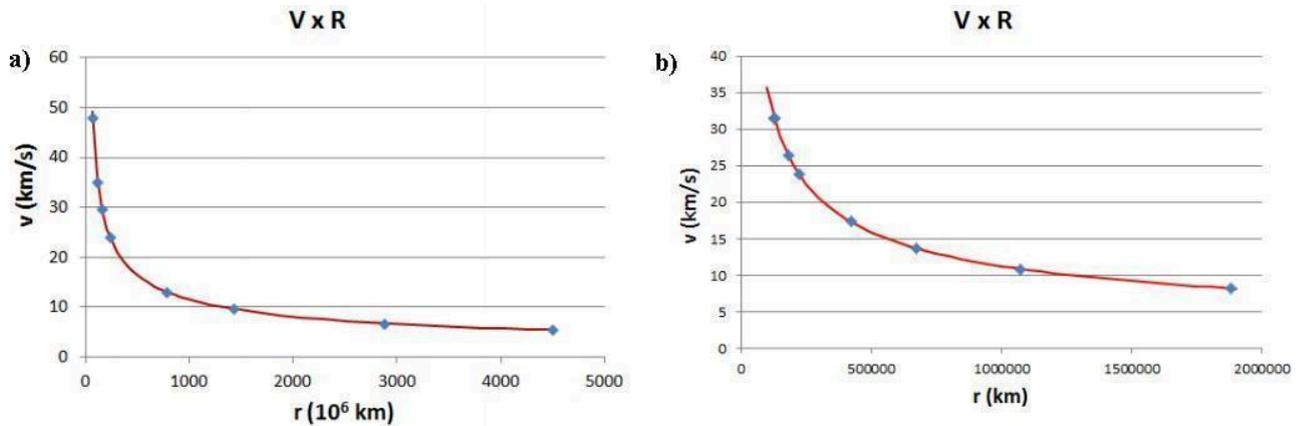
$$v = \sqrt{\frac{MG}{r}}, \quad (6)$$

onde  $M$  é a massa do objeto central;  $r$  a distância entre os objetos; e  $G$  a constante gravitacional.

A equação (6) foi aplicada com sucesso em muitos estudos envolvendo o sistema solar e sistemas planetários, como por exemplo, o de Júpiter. Devido ao seu comportamento característico como função, ficou conhecida como curva de rotação de corpos (CRC).

A concordância entre teoria e observação com a aplicação da CRC pode ser analisada nos gráficos a e b, representados na Figura 4, que relaciona a velocidade orbital com a distância das luas de Júpiter ao planeta, e dos planetas do sistema solar ao Sol (para maiores informações sobre os dados, ver XIMENES, 2016).

**Figura 4** – Gráfico a), CRC aplicada em observações dos planetas do sistema solar. Gráfico b), CRC aplicada em observações das sete primeiras luas de Júpiter. Linhas em vermelho, dados teóricos. Pontos em azul, pontos experimentais.



Fonte: adaptado de XIMENES (2016)

Para corpos de uma galáxia espiral, a equação (6) não mais representaria a CRC, pois em estruturas deste tipo não é válido considerar que toda a massa do sistema esteja concentrada em seu centro, como no caso dos sistemas mostrados anteriormente, pois ao contrário deles, existe uma quantidade não desprezível de massa em regiões externas ao centro de galáxias desse tipo (BARROCAS, 2018).

A principal divergência entre a CRC teórica para uma galáxia e a CRC oriunda da equação (6) seria que até certo raio crítico ( $R$ ), a velocidade orbital dos corpos não seria inversamente proporcional a  $r^{-1/2}$  e sim diretamente proporcional a  $r$ . Isso pode ser demonstrado se considerarmos uma esfera de raio  $R$  que englobe uma certa quantidade de matéria de uma galáxia espiral hipotética. Sendo a densidade de matéria dentro desta esfera distribuída de forma homogênea, temos que:

$$\frac{3M(r)}{4\pi r^3} = \frac{3M}{4\pi R^3}$$

$$M(r) = M \frac{r^3}{R^3} \quad (7)$$

onde  $M$  seria a massa total da esfera,  $R$  o raio total, e  $r$  a distância, de corpos contidos na esfera, ao centro dela.

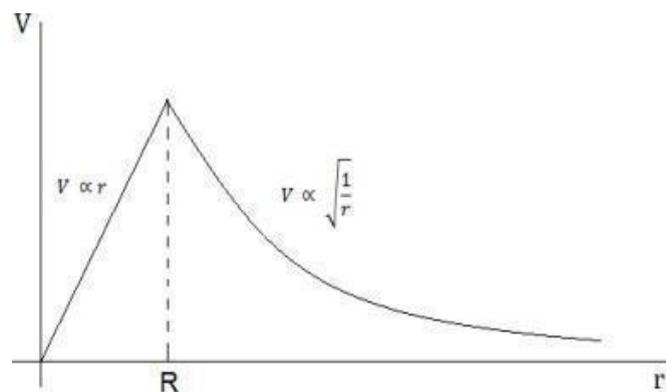
Aplicando  $M(r)$  para uma partícula de massa  $m$  que sofre interação gravitacional dos corpos situados a uma distância  $r \leq R$  do centro da esfera, e partindo da igualdade entre força centrípeta e gravitacional ocorrente em órbitas circulares, chega-se que a velocidade orbital, nesses objetos, é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R^3} r}. \quad (8)$$

Com a equação (8) é possível entender que até uma distância  $r = R$  a velocidade dos objetos em órbita de uma galáxia espiral seria crescente. Entretanto, essa é somente uma aproximação qualitativa (para melhor compreensão, ver RUBIN, 1970 e XIMENES, 2016) que nos permite compreender esse comportamento para corpos que estão mais próximos do centro de uma galáxia espiral.

A partir de  $r > R$ , o comportamento teórico, previsto pela dinâmica newtoniana para a CRC de astros de uma galáxia espiral, seria igual ao calculado na equação (6), pois para esses corpos, é novamente possível considerar que a massa  $M$ , da esfera imaginada, esteja concentrada toda em um ponto no espaço. Deste modo, o comportamento esperado para a CRC de uma galáxia espiral seria semelhante ao gráfico da Figura 5.

**Figura 5** – Comportamento, aproximado, que seria esperado para análise da CRC para uma Galáxia Espiral

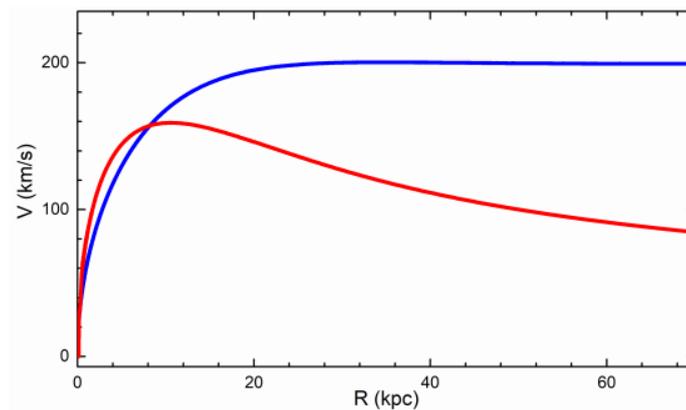


Fonte: XIMENES (2016)

Rubin (1970) realizou estudos sobre a aplicação da CRC para estrelas, gás e poeira na galáxia de Andrômeda. Ela acabou encontrando, em seu trabalho, novos indícios da matéria

escura. Como pode ser visto na Figura 6, que é uma representação qualitativa dos resultados encontrados por ela e sua equipe (para ver os dados originais, ler RUBIN, 1970), a velocidade de objetos com uma distância  $r > R$  é muito divergente do esperado teoricamente.

**Figura 6** – Gráfico ilustrando a divergência encontrada por Vera Rubin e sua equipe, entre os dados teóricos e observados a respeito da CRC para a galáxia de Andrômeda (dados fictícios). Linha vermelha, teórica. Linha azul, experimental.



Fonte: BARROCA (2018)

A explicação usual dada para esta discrepância é muito semelhante à que Fritz Zwicky postulou em seu trabalho: existe algo presente no Universo que só interage gravitacionalmente. Este “algo”, a “matéria escura”, estaria distribuída pela galáxia de modo que a massa medida na equação (8) seja maior do que o medido pela luminosidade proveniente das galáxias. Com isso, a CRC ficaria consistente com a física newtoniana (RUBIN, 2006). Portanto, servindo como mais um indício da existência da matéria escura.

### 2.2.2. Outras perspectivas com relação à matéria escura

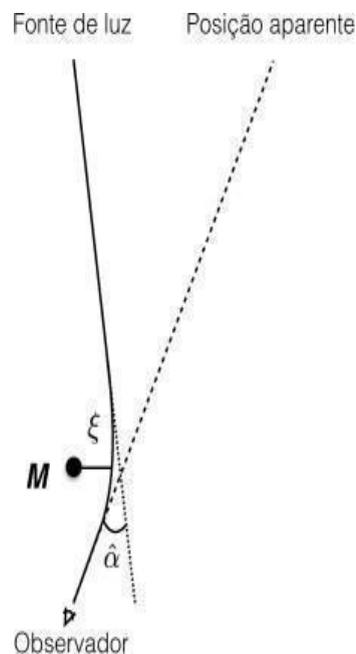
Quando Vera Rubin publicou seus resultados, alguns cientistas passaram acreditar que, na verdade, o problema deveria ser resolvido pela suposição de que a teoria gravitacional utilizada está errada nas escalas observadas, o que teria levado, equivocadamente, a acreditar na existência da matéria escura. Para essa perspectiva, surgiu uma nova teoria, conhecida como MOND (da sigla em inglês para “Modified Newtonian Dynamics”, traduzindo: Dinâmica Newtoniana Modificada), (VELTEN, 2008).

Os resultados obtidos a partir de pesquisas relacionadas à MOND conseguiram explicar os problemas da CRC nas galáxias espirais. Porém, não foram bem-sucedidas com relação ao problema envolvendo o Teorema do Virial nas medidas dos aglomerados de Galáxias, assim

como observações feitas sobre Lentes Gravitacionais que mesmo partindo de outra área teórica (Relatividade) sugerem a existência da matéria escura. (GUSMÃO, 2017; XIMENES, 2016; BARROCA 2018).

Com relação às Lentes Gravitacionais, ligadas à teoria da Relatividade, foi previsto por Einstein que um feixe de luz, ao passar por um objeto massivo de massa  $M$ , pode sofrer uma deflexão de um ângulo  $\alpha$  em sua trajetória (MAKLER, 2019). Um esquema dessa abordagem pode ser visto na Figura 7.

**Figura 7** – Diagrama esquemático de como um objeto massivo pode desviar a trajetória da Luz



Fonte: MAKLER (2019)

Com esse arcabouço teórico também é possível calcular a massa de objetos astronômicos em função do ângulo  $\alpha$  (MAKLER, 2019). Deste modo, foram realizadas observações de aglomerados de galáxias a partir de alterações que estas estruturas geram no caminho da luz de outros objetos. Medidas realizadas dessa forma resultam novamente em valores superiores à massa estimada a partir do brilho desses aglomerados (XIMENES, 2016). Essa “massa faltante” é atribuída à matéria escura.

Problemas entre teoria e observação, como o que acabou de ser apresentado, envolvendo a matéria escura, foram comuns ao longo da história da ciência. Dois deles podem

ser destacados: o problema da órbita de Urano que levou ao descobrimento de Netuno, e o problema da órbita de Mercúrio, “decifrado” por meio da Relatividade Geral, proposta por Einstein, em 1915 (SOUZA; TEIXEIRA, 2021).

No caso de Urano, realmente existia um objeto que influenciava sua órbita; inicialmente, sua existência foi postulada exclusivamente por meio de cálculos matemáticos. A existência desse objeto, o planeta Netuno, foi confirmada posteriormente por meio de observações astronômicas.

Para Mercúrio, só foi possível entender os problemas provocados pelas observações experimentais de sua órbita a partir dos conhecimentos que uma nova teoria, a Relatividade Geral, trouxe, com relação à deflexão que a luz sofre ao passar por objetos massivos. Outro exemplo entre divergências entre teoria e experimento está relacionado com a catástrofe do ultravioleta, que levou ao surgimento da mecânica quântica.

Relacionando estes desdobramentos ao problema da matéria escura, é possível especular sobre o que acontecerá com a ciência quando ele for resolvido. Será uma nova partícula? Serão astros supermassivos que não emitem luz? Ou será uma nova abordagem teórica? Seja como for, quando solucionarmos o problema de quase um século da matéria escura, será um grande marco na história da ciência.

Apesar de o problema aqui retratado estar colocado na fronteira mesma do conhecimento científico, nada impede que ele seja trazido à baila num contexto de ensino de Física em nível médio. Aliás, esta é uma pergunta que facilmente pode ocorrer neste meio: “professor, o que é matéria escura?” Esta dissertação propõe, entre outras coisas, transpor para o Ensino Médio este “saber sábio”, fazendo, bem entendido, as devidas ponderações e pontes para que pessoas com este nível de aprendizagem possam minimamente entender do que ele trata.

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1. Caracterização da pesquisa**

A presente pesquisa é de natureza aplicada, pois visa desenvolver uma ação prática que possa promover um maior interesse nas aulas de física no ensino médio, assim como desenvolver um maior entendimento sobre como ocorrem os processos de evolução da ciência.

Esta investigação será de cunho qualitativo, uma vez que se buscará entender como os fatos da pesquisa podem contribuir para o ambiente escolar. Através desse tipo de análise, se torna possível interpretar o potencial que as aulas relacionando o conteúdo programático de Física com o problema da matéria escura possuem na produção de implicações para os processos de Ensino e Aprendizagem da Física, e da Ciência de modo geral.

Com relação aos objetivos, eles serão exploratórios, dado que se buscará uma maneira diferenciada de propor as aulas de mecânica clássica, com destaque às interseções com as investigações relacionadas à natureza da matéria escura.

Os procedimentos serão de cunho participante, uma vez que a intervenção ocorre em sala de aula. Sendo assim, o professor pesquisador atua diretamente com os estudantes, público-alvo a ser pesquisado através da proposição de aulas que vinculam, no contexto do Ensino Médio, aspectos da Astrofísica moderna com aspectos correspondentes da mecânica clássica, diferenciando-os.

#### **3.2. Contexto da pesquisa**

A pesquisa foi efetuada na Escola Estadual São Rafael, da cidade de Flores da Cunha, Rio Grande do Sul, em uma turma, com 28 alunos do terceiro ano do Ensino Médio. Desta forma, espera-se que seja possível averiguar como a sequência didática pode atribuir novos significados para conceitos já estudados por esses alunos anteriormente.

As relações dos conteúdos programáticos pertinentes à matéria escura foram propostas em sala de aula, com auxílio de um projetor multimídia para a apresentação de gráficos e outras figuras, e também com acesso à internet para a visualização de vídeos que exploram a temática.

### 3.3. Instrumentos de coleta de dados

Para a coleta de subsídios para a pesquisa foram elaborados questionários com questões abertas, sendo posteriormente submetidos aos alunos que participaram das aulas, de modo a avaliar a compreensão dos conteúdos abordados, bem como o nível de entendimento a respeito do funcionamento dos processos de evolução da ciência. Também foi avaliada, por meio da observação do professor-pesquisador, a existência da potencial influência destas aulas no interesse dos alunos para com a física e a ciência de modo geral.

Para averiguar as concepções prévias dos alunos com relação a conteúdos de mecânica clássica, em especial interpretações sobre a força centrípeta e gravitacional, e também suas concepções mais gerais sobre a ciência, foi aplicado um pré-teste, disponível no apêndice A, com questões abertas que envolvem conceitos relacionados a esses temas.

As respostas às questões servem como um indicativo do perfil epistemológico da turma analisada. Assim, a ideia consiste em traçar um perfil epistemológico único da turma, tratando-a como se fosse homogênea. Esperava-se poder produzir três gráficos de perfis epistemológicos para a turma, ligados aos conceitos de massa, força e natureza da ciência.

Foi observada a existência dos obstáculos epistemológicos para que, posteriormente, eles fossem associados aos cinco perfis epistemológicos apresentados anteriormente, e a partir destes procedimentos, na medida do possível, fossem elaborados gráficos (como os que Bachelard desenvolve para perfil epistemológico para massa) para a turma estudada. No intuito de validar o desenvolvimento da proposta foi solicitada a elaboração de um texto dissertativo aos alunos, relacionado à pergunta “*O que você pensa que é mais importante para que a ciência evolua: Teoria ou observação?*”. Desta maneira, pretendeu-se poder comparar as opiniões registradas no texto dissertativo com as respostas do questionário e avaliar se houve mudança de perspectiva com relação a como funciona a ciência.

Para a verificação do desenvolvimento dos conteúdos programáticos os alunos foram analisados o desenvolvimento das respostas dos alunos a questionários posteriores àquele relacionado às concepções prévias. Com isso esperou-se perceber a existência, ou não, de mudanças nas concepções registradas anteriormente.

### 3.4. Técnicas de análise de dados

Foi realizada uma análise textual discursiva, acompanhada de uma estatística descritiva, uma vez que se buscou descrever e interpretar os conteúdos, sejam eles verbais ou não verbais,

expressos pelos alunos durante a aplicação desta sequência didática (Em cada semana foram recolhidos materiais com respostas e análises referentes a questões propostas pelo professor ou, eventualmente, expressas pelos próprios alunos). Desta maneira, foram comparadas as concepções prévias relativas a determinados conceitos para posterior verificação da ocorrência (ou não) de mudanças significativas na perspectiva dos alunos com relação ao que eles passaram a pensar após a aplicação da sequência didática.

### **3.5. Desenvolvimento da pesquisa**

Durante as aulas observadas ao longo dessa pesquisa foram empregadas as estratégias “jigsaw” e “minute paper”. A primeira é uma estratégia de aprendizagem colaborativa que visa promover a interação e cooperação entre os estudantes. Foi desenvolvida pelo psicólogo Elliot Aronson na década de 1970 e tem sido amplamente utilizada em contextos educacionais. A estratégia envolve a divisão da turma em pequenos grupos heterogêneos. Cada grupo é responsável por uma parte do conteúdo, geralmente um aspecto específico do assunto em estudo. Depois que os grupos são formados, os estudantes se reúnem em "especialistas", onde cada membro do grupo se aprofunda em um tópico específico. Eles podem realizar pesquisas, estudar materiais ou discutir o tema em conjunto. O objetivo é se tornarem especialistas em seu tópico específico (TORRES; IRALA, 2005).

Após esse período de estudo, os especialistas se dispersam para formar novos grupos chamados "jigsaws". Eles são compostos por estudantes de diferentes grupos especialistas, de modo que cada novo grupo tenha um especialista de cada tópico. Nesse novo grupo, os estudantes compartilham e ensinam uns aos outros o que aprenderam em seus grupos de especialistas. Essa etapa de ensino mútuo é fundamental para a estratégia Jigsaw. Cada estudante tem a oportunidade de compartilhar seu conhecimento e aprender com os colegas, criando um ambiente de aprendizagem colaborativo. Esse processo incentiva a participação ativa, a troca de informações, a compreensão coletiva e a construção conjunta do conhecimento. Ao final, os estudantes retornam aos seus grupos especialistas originais, onde têm a oportunidade de compartilhar o que aprenderam com os outros membros do grupo. Dessa forma, ocorre uma síntese e integração dos conhecimentos individuais em um entendimento mais completo e abrangente do assunto estudado (TORRES; IRALA, 2005).

O minute paper é uma estratégia simples e rápida de receber feedback sobre a aprendizagem dos alunos onde eles podem, tanto no final ou no início de uma aula, refletir e

registrar os principais aspectos relacionados ao tema que será ou foi discutido a partir de algum questionamento rápido proposto pelo professor. Com isso, é possível identificar as dificuldades que os alunos estão a sentir e com isso elaborar estratégias que permitam atacar esses problemas (HENRIQUES, 2020). Neste trabalho, o minute paper foi usado em alguns momentos para verificação de como estavam as ressignificações e rupturas associadas aos obstáculos epistemológicos encontrados no questionário inicial.

Essa sequência didática foi aplicada em cinco semanas com aulas duplas de 50 minutos cada uma.

### **Semana 1**

1) Foi aplicado um questionário (disponível no Apêndice A) que envolveu conhecimentos prévios relacionados a conceitos básicos das leis de Newton, gravitação universal e concepções da ciência. Tempo: 90 min.

Com as respostas dadas a essas perguntas traçou-se o perfil epistemológico da turma estudada com relação aos conceitos de massa, força e natureza da ciência.

2) Foram organizados grupos em trios, para os quais foram propostos os temas de pesquisa que cada aluno deveria realizar (os integrantes dos grupos pesquisaram assuntos distintos, sendo eles Gravitação Universal, Órbitas celestes e Força Centrípeta. Foi usada a metodologia jigsaw neste momento do trabalho. Tempo: 10 min

### **Semana 2**

1) Foi organizado o grupo de “especialistas” para debaterem sobre questões relacionadas à sua pesquisa. Tempo: 20 min

Adotando essa medida, a expectativa era a de preencher possíveis lacunas relacionadas ao tema de pesquisa de cada “especialista”, tanto na dinâmica entre o grupo como em intervenções do professor.

2) Assim, a turma foi reorganizada nos “grupos originais”, e foi indicado que, com o conhecimento estudado pelos três integrantes (Força Centrípeta, Força Gravitacional e órbitas celestes), os grupos receberiam como tarefa responder e justificar o questionamento: “Qual planeta do sistema solar possui uma maior velocidade tangencial de translação em torno do Sol? Tempo: 50 min.

Neste momento, esperava-se que os alunos conseguissem relacionar a força centrípeta com a força gravitacional em uma órbita planetária circular e com isso chegar na equação curva de rotação de corpos (CRV, citada anteriormente). Por meio da análise desta equação, pode-se constatar que a velocidade tangencial de um corpo celeste em órbita é inversamente proporcional ao raio médio de sua órbita. Portanto, a expectativa era a de que eles respondessem, corretamente, que o planeta que possui maior velocidade tangencial é Mercúrio, pois é o mais próximo do Sol.

3) No terceiro passo foi feito um debate entre os grupos e o professor com relação às respostas oferecidas pelos alunos. Tempo (20 min).

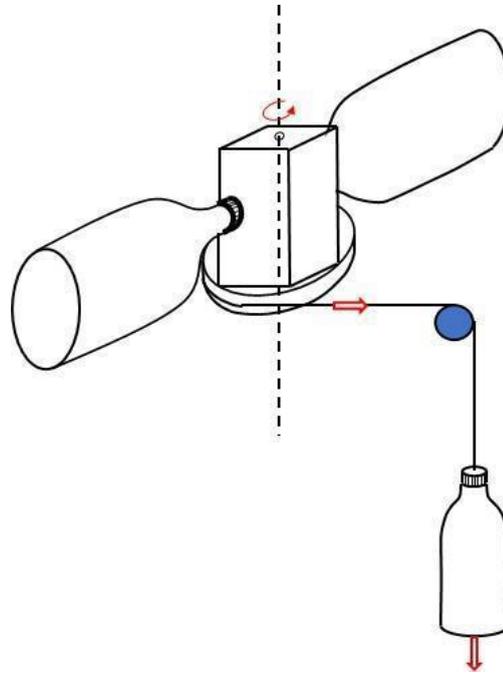
Após as conclusões de cada um dos grupos, o professor abriu espaço para que todos mostrassem seus resultados. Neste ponto, é muito importante que o professor propicie um tempo para que cada grupo defenda seu ponto de vista, caso haja pontos de divergência. Depois, é necessário sistematizar a CRC e mostrar gráficos teóricos e observacionais de quando essa equação é aplicada para o Sistema Solar ou o Sistema lunar de Júpiter (gráficos disponíveis no anexo A).

4) Apresentação das questões: a) Qual foi o conceito mais importante que você acredita ter aprendido durante a aula? b) Existe(m) pergunta(s) que gostaria de fazer relacionada(s) aos estudos realizados? Se sim, qual (ais)? O método acima apresentado foi baseado no minute paper. Tempo: 10 min

### **Semana 3**

1) Foi apresentado um experimento com garrafas PET como simulador de como a presença de massa pode contribuir na velocidade de rotação de diferentes objetos em uma trajetória semelhante ao das órbitas celestes. Um diagrama da montagem do aparato experimental pode ser conferido na figura 8. Tempo: 20 minutos.

**Figura 8** - Diagrama do modelo demonstrativo de como a massa pode afetar a velocidade de rotação de um sistema.



O presente diagrama evidencia o funcionamento do experimento que funciona como uma simulação de como a presença de massa em um sistema causa um ganho de velocidade na rotação dos objetos. O experimento foi realizado de duas maneiras: primeiramente com metade da capacidade de volume das garrafas suspensas pelo fio e depois com capacidade total. Quando as garrafas do sistema rotatório tinham metade de seu volume com água, uma certa quantidade de água – pequena – era colocada na garrafa suspensa, que propiciava a rotação. Quando a massa das garrafas do sistema rotatório tem todo o seu volume completado com água, sua massa, como é evidente, dobra. Então, por coerência com a mecânica newtoniana, nestas condições elas simulariam um sistema (um par de astros) que, por ter a massa dobrada, experimentaria uma força gravitacional quatro vezes maior (a distância entre as massas é suposta constante). Por isso, a garrafa suspensa, que representa a força gravitacional entre os dois astros (garrafas) foi multiplicada por quatro. Desta maneira é possível observar que as garrafas, quando com mais água dentro de si, e portanto, com mais massa no sistema, adquirem uma maior velocidade de rotação, a qual possível medir: o tempo para a rolagem de todo o fio é menor em comparação com o experimento na primeira situação.

A física por trás do experimento é um tanto diferente com relação a um sistema de uma

galáxia, mas a ideia é que seja apenas um aparelho de simulação. Vale ressaltar que os alunos não sabiam da diferença entre as duas situações citadas anteriormente, apenas observaram a mudança na velocidade no sistema tentando justificar o ocorrido. Para tanto, as garrafas estavam pintadas de tinta preta e já previamente preenchidas por água, tendo uma garrafa específica para cada situação. Com isso, é esperado que os alunos consigam relacionar que assim como a presença de uma massa maior do que era esperado nesse sistema causou uma maior rotação, acontece com uma galáxia no caso da suposição de existência da matéria escura.

2) Neste passo foram reunidos os mesmos grupos da semana anterior e apresentados a eles gráficos de velocidades de órbita com o raio médio e sua contrapartida teórica e observacional aplicados a estrelas em diferentes galáxias. Estes gráficos podem ser observados na Figura 9 a seguir. Tempo: 10 min.

3) Mediante análise destes gráficos e os comparando com os apresentados anteriormente, foi solicitado a resolução de um questionário com questões abertas de forma individual pelos alunos (Questionário disponível no Apêndice A) Tempo: 50 min.

Essas questões serviram para averiguar como os alunos interpretam uma contradição entre dados teóricos e observacionais na natureza e se de alguma maneira conseguiram pensar em uma solução coerente para a problemática.

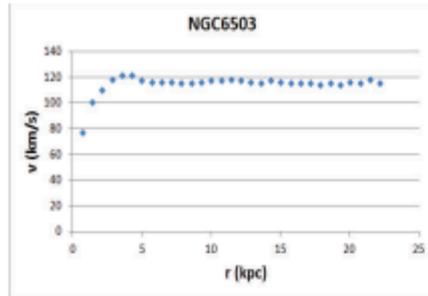
4) Por último foi aplicado novamente o minute paper (com as mesmas questões abordadas anteriormente). Tempo: 10 min

**Figura 9** - Gráficos de velocidade em função da distância até o bojo central de algumas estrelas de galáxias do superaglomerado local.

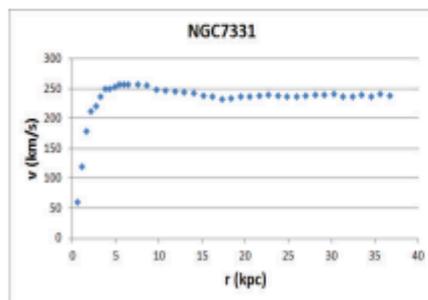
Exemplo de galáxia



NGC 6503



NGC 7331



NGC 2903



Fonte: Ximenes, 2016.

## Semana 4

1) Nesta etapa então foram retomadas as discussões anteriores e argumentado como a suposição da existência de uma matéria que não emite luz (matéria escura) pode solucionar os problemas encontrados nas análises feitas nos gráficos apresentados. As respostas dadas às perguntas dos alunos na semana anterior foram retomadas e comentadas. Tempo: 50 min

Neste momento ocorreu a sistematização da problemática da matéria escura de maneira a expor os pioneiros nesta pesquisa (Vera Rubin e Fritz Zwicky) por meio de apresentação em powerpoint (disponível no Apêndice B). É importante frisar que o método exposto e discutido foi o que a Vera Rubin estudou, pois está relacionado à CRC da galáxia de Andrômeda, sendo um estudo semelhante ao trabalhado nas semanas anteriores. O método de Zwicky parte de análises do Teorema do Virial, um conteúdo mais avançado não normalmente trabalhado no Ensino Médio, deste modo, sendo apenas citadas as conclusões de seu trabalho sem que aprofundamentos sejam efetuados, tanto físicos quanto matemáticos que, normalmente, são inacessíveis ao estudante de Ensino Médio pela complexidade envolvida.

2) Assim, foram apresentados os problemas teóricos das órbitas de Urano e Mercúrio e, a partir daí, foi proposta a realização de mais um questionário (disponível no apêndice A) para que os alunos conseguissem estabelecer relações com o problema da matéria escura. Tempo: 50 min.

Na apresentação destes problemas foram enfatizadas as divergências ocorridas entre teoria e observação na História da Ciência dentro da própria teoria newtoniana da Gravitação. O importante nos dois problemas ligados a Mercúrio e Urano, já discutidos na introdução deste trabalho, é que foram atribuídas a ambos soluções distintas ao longo do tempo. Portanto, foram expostos três caminhos possíveis, a partir da não consonância entre teoria e observação:

1. Um objeto ainda não observado, e a consequente manutenção da teoria (observação de Netuno no caso da órbita de Urano com relação a Gravitação Universal de Newton).
2. Um ajuste na teoria existente (a gravitação de Newton), o que não foi possível, no caso de Mercúrio;
3. Uma teoria completamente nova, que parte de pressupostos diferentes (a teoria da relatividade geral, no caso de mercúrio).

## Semana 5

1) Para finalização da sequência didática então, foi solicitada a realização de um texto dissertativo, seguindo as normas ABNT, relacionado à pergunta "O que é mais importante para que a ciência evolua: Teoria ou observação?". O texto proposto deveria ter, no mínimo, 15 linhas. Os alunos podem consultar todo o material disponibilizado nas apresentações e desenvolvimento dos estudos com relação à matéria escura. Tempo: 100 minutos.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na presente seção do trabalho serão exibidos os resultados obtidos por meio de análises dos questionários aplicados bem como observações pertinentes realizadas pelo pesquisador no momento da aplicação da sequência didática descrita na seção anterior.

Antes da apresentação das respostas dos questionários e análises dos mesmos, é necessário chamar atenção para alguns fatos observados. Houve muita variação na frequência dos alunos, tendo em média 18 alunos em uma turma de 28, sendo as aulas aplicadas na sexta-feira, fator que pode ter contribuído para essa condição.

Outro fator importante a ser destacado é a utilização de inteligências artificiais para respostas dadas aos questionários aplicados. Ficou evidente na análise das respostas que cerca de metade dos alunos utilizaram esse recurso, mesmo sendo enfatizado que eles não seriam penalizados por respostas “erradas”. O fato de haver muitas faltas pode ter contribuído para isso, pois muitos apenas viram a atividade postada na plataforma “classroom” e como não estavam presentes na aula, acharam por bem responder “o mais certo possível”. Entretanto, mesmo com essas adversidades foi possível a obtenção de dados interessantes a serem levantados e discutidos nesta dissertação.

### **4.1 Concepções prévias**

A aplicação do questionário 1, ocorrida no dia 20 de outubro de 2023, que tinha como intuito averiguar os conhecimentos prévios dos alunos contou com a resposta de 19 alunos. No Quadro 1 foram separadas algumas das respostas referentes à questão 1 enquanto no Quadro 2 referentes à questão 2. Com isso, foi possível obter indicativos de zonas de um perfil epistemológico em relação ao conceito de massa para a turma de alunos estudados.

**Quadro 1** - Relação entre respostas da questão 1 do questionário 1 e zonas de perfis epistemológicos.

1 - Para saber que um objeto existe, precisamos vê-lo? Se há outras formas de saber que o objeto existe, você poderia indicar quais? Comente, se desejar.	
<b>Filosofias do perfil epistemológico</b>	<b>Respostas</b>
<b><i>Realismo ingênuo</i></b>	<p>“Simmm, pois n tem como vê e saber q tem um objeto sem ve-lo , ent sim precisamos vê-lo”</p> <p>“Não, podemos saber que eles existem com o toque também”</p> <p>“Se você não vê um OBJETO, ele teoricamente não existe”</p> <p>“não, pois existem outros sentidos além da visão que nos permitem identificar existência de coisas”</p>
<b><i>Empirismo claro e positivista</i></b>	<p>“Não, não é necessário ver um objeto para saber que ele existe. Existem outras formas de verificar a existência de objetos, como a detecção por meio de outros sentidos, como o tato ou a audição, ou usando instrumentos e métodos científicos, como microscópios, telescópios, detecção de radiação, entre outros. A percepção visual é apenas uma das muitas maneiras de obter informações sobre o mundo ao nosso redor”.</p>
<b><i>Racionalismo clássico</i></b>	<p>“Por meio da ciência descobrimos, pois não vemos um átomo mas sabemos que existe”</p> <p>“Sim, as teorias, elas não mostram fisicamente o objeto, mas provam teoricamente que ele existe, com evidências que o mesmo está em algum lugar do universo, e podem até dizer com alguma certeza onde exatamente o objeto se encontra, podemos calcular com equações onde está, sua forma, do que é feito, seu comportamento e sua vida útil e muitas outras coisas sem ao menos ver ou sentir o objeto, só com equações onde se tem um número limitado de dados”.</p>
<b><i>Racionalismo complexo</i></b>	-
<b><i>Racionalismo dialético</i></b>	-

**Quadro 2** - Relação entre respostas da questão 2 do questionário 2 e zonas de perfis epistemológicos

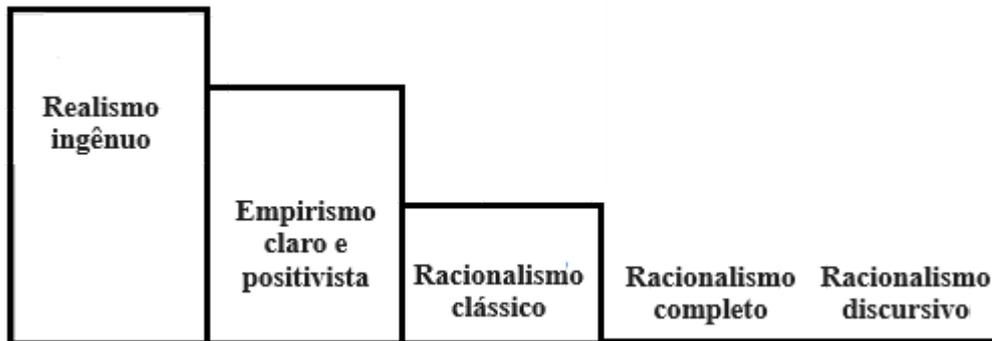
2 - Somente observando a uma distância igual, sem tocar ou saber os materiais que os objetos abaixo são constituídos, sendo que todos são inteiramente maciços, em sua opinião, qual seria mais difícil de ser carregado? (identifique pela cor) podes explicar a escolha feita?"	
<b>Filosofias do perfil epistemológico</b>	<b>Respostas</b>
<b><i>Realismo ingênuo</i></b>	<p><i>“Na minha opinião seria a caixa preta, porque ela é maior, e teria mais massa”</i></p> <p><i>“O preto, porque mesmo que todos sejam maciços o preto tem mais massa por causa do tamanho”</i></p> <p><i>“O preto, por ser maior”</i></p>
<b><i>Empirismo claro e positivista</i></b>	<p><i>“Na verdade não é possível ter uma certeza, pois as vezes os materiais são diferentes, e possuem diferentes dificuldades de ser carregado. Muitos, possivelmente dirão que o preto é mais difícil de ser carregado, mas em contrapartida ele pode não ser maciço, facilitando o processo”.</i></p>
<b><i>Racionalismo clássico</i></b>	-
<b><i>Racionalismo complexo</i></b>	-
<b><i>Racionalismo dialético</i></b>	-

Nos dois quadros podem ser vistos exemplos de respostas dadas às duas primeiras questões. Elas representam quais respostas foram consideradas mais ligadas a cada filosofia do perfil epistemológico. Com relação à primeira questão, respostas nas quais a suposição de um objeto sempre está ligada a um sentido humano foram consideradas dentro do realismo ingênuo. Já quando existiu uma análise mais profunda, porém ligada a um “experimento” para se ter a “real certeza” dentro do empirismo claro e positivista. Quando se pensou em alguma teoria científica para embasar a existência de um objeto, ou seja, supor sua existência por meio da ciência, considerou-se dentro do racionalismo clássico.

Com relação à segunda questão, respostas onde foi considerado que o objeto preto foi o mais difícil de ser carregado por ser o maior, ficaram dentro do realismo ingênuo e quando foi considerado as possíveis diferenças dos materiais, mas sem considerar especificamente a questão da densidade, dentro do empirismo claro e positivista.

As respostas destas questões serviram como indicativo para elaborar um gráfico, representado na figura 9, onde buscou-se supor qual seria o perfil epistemológico com relação ao conceito de massa da turma estudada.

**Figura 9** - Gráfico de perfil epistemológico de uma turma de 3º ano de EM com relação ao conceito de massa



Como pode ser visto, existe uma predominância de uma filosofia mais ligada ao realismo ingênuo com relação ao conceito de massa e quase nada do racionalismo clássico. Como visto nos pressupostos teóricos, não era esperada a apresentação de indicativos do racionalismo complexo ou dialético, até mesmo pelo tipo de pergunta apresentada que provavelmente induz o aluno a uma respostas mais enquadrada nas três primeiras filosofias. Todavia, por se tratar de alunos no último ano do ensino médio, esperava-se que apresentassem mais relações em suas respostas com o racionalismo clássico do que o que pode ser observado.

Analisando as respostas da questão 3 foi elaborado o quadro 3 de modo a exemplificar quais tipos de respostas se relacionam com cada filosofia do perfil epistemológico. Nestas questões são abordados conhecimentos relacionados à força gravitacional.

**Quadro 3** - Relação entre respostas da questão 3 do questionário 1 e zonas de perfis epistemológicos

3 - Imagine um grande objeto astronômico (semelhante a um planeta) distante da terra, será existiria algum tipo de interação entre ele e a Terra? Justifique	
<b>Filosofias do perfil epistemológico</b>	<b>Respostas</b>
<i>Realismo ingênuo</i>	“Acredito que não por estarem distantes”
<i>Empirismo claro e positivista</i>	“Talvez sim, exemplo o sol, podemos sentir o calor, mas não podemos escutá-lo, então sim, poderíamos ter contato com outro planeta, dependendo das condições, como calor, a forma de vida ....”
<i>Racionalismo clássico</i>	“Sim, a força gravitacional atuaria entre o objeto astronômico e a Terra, causando uma atração mútua”
<i>Racionalismo complexo</i>	-
<i>Racionalismo dialético</i>	-

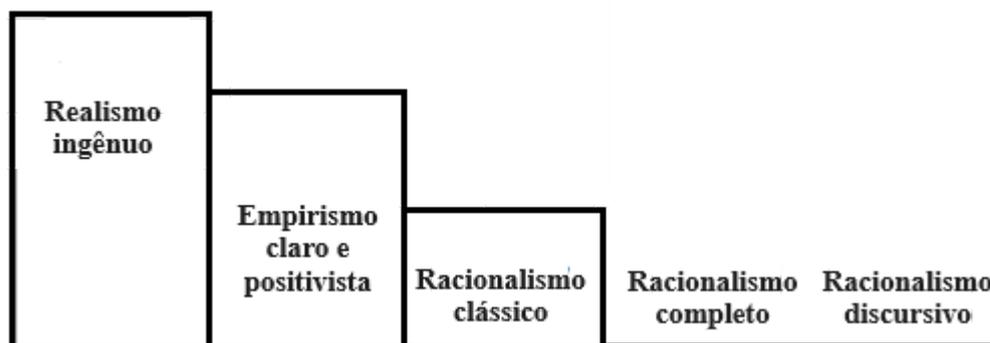
A questão 4 serviu para averiguar se os alunos conseguiam relacionar os movimentos da Terra em torno do Sol e da Lua em torno da Terra com a questão da força gravitacional e também da força centrípeta. Poucos alunos conseguiram identificar movimentos semelhantes no cotidiano (qualquer movimento circular) e que a força gravitacional é a responsável pelos movimentos destes sistemas. De certa maneira estes resultados fazem sentido, pois seria necessário “olhar para o céu”, e intuir que é a gravidade que explica (de modo mais imediato) o movimento da Lua, por exemplo. Porém, o papel da escola para alunos que já chegaram nesse nível (3º ano do EM) seria exatamente expor essas relações.

Com relação à questão 5 que buscava entender como os alunos interpretavam o sentido da força resultante e sua implicação na velocidade do corpo, nenhum aluno conseguiu perceber que não necessariamente força e velocidade têm o mesmo sentido, evidenciando que mesmo alunos do terceiro ano do Ensino Médio não conseguiram ter uma boa compreensão da primeira lei de Newton, a inércia.

Nas questões 6, 7 e 8 os alunos em maioria mostraram por meio de suas respostas que conseguem perceber que uma órbita planetária, o movimento de estrelas em galáxias e um carro fazendo uma curva possuem semelhanças no formato de suas trajetórias (aproximadamente circulares). Entretanto, se limitaram ao formato da trajetória não identificando qual a força presente no movimento e sua relação com a força resultante da trajetória que é a força centrípeta indicando, assim, uma relação de verificação objetiva dos movimentos sem uma reflexão mais profunda dos motivos deles serem semelhantes. Esta concepção tem, portanto, traços marcantes do empirismo claro e positivista.

As respostas das questões 3 a 8 serviram como base indicativa para confecção de um gráfico, representado na figura 10, onde buscou-se supor qual seria o perfil epistemológico com relação ao conceito de força para esta turma de alunos.

**Figura 10** - Gráfico de perfil epistemológico de uma turma de 3º ano de EM com relação ao conceito de força



Fica evidente analisando este gráfico que este grupo de alunos acaba apresentando concepções incompletas sem usar aspectos racionais relacionados ao conceito de força, indicando, assim, que não possuem um conhecimento básico da física clássica. Um destaque a ser feito pela análise dos dois gráficos é que a proporção em que cada filosofia é praticamente a mesma, indicando que o realismo ingênuo pode ser predominante em conceitos ligados à disciplina de física.

Analisando estas respostas um fato a ser destacado também é o de que o maior obstáculo epistemológico encontrado foi o da experiência primeira, tanto para o conceito de

massa como para o de força. Portanto, fica evidenciada a necessidade de se promover um ensino que ofereça mais reflexão e propicie a emergência do pensamento crítico aos alunos.

Com as respostas das perguntas 9 a 13 foi possível obter indicativos de como é a concepção do grupo de alunos estudado, com relação à ciência e aspectos relevantes para desenvolvimento dela.

Com relação à questão 9 todos mostraram concordar com a frase: "observação e experimentação são o ponto de partida das leis naturais" (Nussenzweig, 1985, p. 5) focando as justificativas em que é assim que se comprova algo. Algumas respostas que exemplificam: "*Sim, pois assim conseguimos provar muitas coisas*" *Sim, pois é desse jeito que a ciência é comprovada*".

Analisando as questões seguintes, elas também apontaram para uma valorização da observação em detrimento de abordagens reflexivas e críticas com relação a compreensão de ciência destes alunos. Por exemplo, 72% das respostas escolhidas para a questão 10 (Qual das frases a seguir seria a mais condizente com relação a sua visão sobre ciência?) Foi a frase "A ciência parte da observação e experimentação levando a um conhecimento comprovado caso exista verificação do mesmo fenômeno por mais de uma pessoa nas mesmas condições anteriores". Enquanto as outras 3 alternativas tiveram uma distribuição de escolhas aproximadamente iguais.

Esse fato corrobora os resultados colhidos nas questões 8 e 9, onde a maior parte das respostas também apontava para essa visão mais objetiva da ciência. Para o grupo de alunos estudados, a observação e a experimentação podem ser entendidas como componentes centrais e fundamentais no processo científico.

As respostas mostram não haver uma reflexão sobre como a observação e experimentação podem não ser confiáveis a certa medida para haver avanços científicos. Numa perspectiva bachelardiana, como visto na fundamentação teórica desta dissertação, existe importância da observação e da experimentação no processo científico, mas com necessidade de uma reflexão maior acerca dos resultados obtidos, enfatizando uma interação entre observação, teoria, racionalidade e imaginário na construção do conhecimento científico. Portanto, as respostas a estas três questões evidenciam que existe a necessidade de oferecer para esse grupo de alunos uma nova (para eles) perspectiva, segundo a qual a

ciência também possui essa outra faceta, e não é somente observar e experimentar, é também raciocinar e refletir.

A última questão do questionário 1 buscou entender quais as perspectivas dos alunos com relação à ciência, se ela possui muitas descobertas a fazer ou se, nos dias atuais, tudo já foi descoberto. Respostas semelhantes a estas: *“Sim, ainda existem muitas coisas a serem descobertas vida inteligente fora da terra”* *“Existem diversos mistérios, como o surgimento da vida e as profundezas do oceano”* foram amplamente dadas. Portanto, esse fato mostra a existência de uma concepção, por parte dos alunos, que ainda existem mistérios a serem explorados e estudados pela ciência.

A partir da análise destas respostas foi possível estimar como seria um gráfico, representado na figura 10, de perfil epistemológico para essa turma com relação a concepção de ciência deles.

**Figura 10** - Gráfico de perfil epistemológico de uma turma de 3º ano de EM com relação à concepção da ciência.



Um fato a ser considerado é o de que em comparação com os outros dois gráficos, não foi identificada uma descendência gradativa conforme as filosofias do perfil epistemológico vão avançando, mas nota-se uma predominância do empirismo claro e positivista, o que mostra uma confiança em resultados de experimentos na ciência, porém sem um aprofundamento racional sobre seus resultados e ainda mantendo certos traços do realismo ingênuo.

#### 4.2. Jigsaw e estudos sobre relações entre força centrípeta e força gravitacional

No dia 27 de outubro de 2023 ocorreu a aplicação do método jigsaw que envolvia o estudo de três conceitos, força gravitacional, força centrípeta e órbitas. Com esses três conceitos, era esperado que os alunos conseguissem demonstrar de maneira matemática qual o planeta do sistema solar que orbita o Sol com maior velocidade.

Um ponto aqui já levantado e importante de ser ressaltado agora é o grau de comprometimento dos alunos, indo da frequência (baixa), à predisposição para a realização das atividades. A aplicação deste método requer que cada um seja responsável por seu tema e realmente pesquise e busque entendê-lo. No caso desta etapa da pesquisa foi constatado que apenas 7 alunos fizeram as pesquisas solicitadas para aplicação do método, e a aula contou com a presença de 15 alunos dos 27 matriculados. Deste modo, foi necessário adotar medidas, explicitadas no parágrafo a seguir, para tentar sanar esse problema.

O professor então fez uma explicação geral sobre os temas, dialogando com quem fez as pesquisas. Como houveram muitas faltas, os grupos previamente formados na semana anterior foram rearranjados, resultando em 5 trios. Depois de uma explicação sobre os três temas foi feito, como previsto, o questionamento a respeito do planeta do sistema solar mais veloz com relação a sua órbita (maior velocidade orbital).

Foi percebida uma grande dificuldade dos grupos em encontrar estratégias para resolver esse problema. O professor então, entrevistou em cada grupo fazendo questionamentos que pudessem ajudá-los a chegar na igualdade entre força centrípeta e força gravitacional. Esse foi sem dúvidas, o grande problema, o de entender que em uma órbita, a força centrípeta é a força resultante da interação gravitacional dos corpos e que, portanto, podemos igualar as equações destas duas forças. Esse fato mostra que é necessário, além de propor o questionamento principal, fazer questionamentos mais básicos que façam os alunos refletirem sobre os temas de pesquisa e que essa reflexão seja como um “guia” para chegarem à resposta para o questionamento envolvendo a velocidade dos planetas.

Com o fato anterior em mente, foram elaboradas sete questões para serem aplicadas neste momento da sequência didática que podem facilitar os grupos a chegarem à conclusão que a força centrípeta pode ser igualada à força gravitacional para a resolução do problema inicialmente proposto. Posteriormente, seria necessário isolar a grandeza velocidade para poder analisar qual a dependência dela com relação às outras grandezas. Nestas questões também foi pensado em questões primordiais identificadas, como por exemplo, a diferença entre velocidade tangencial e angular. As sete questões podem ser observadas no Quadro 4.

**Quadro 4** - Questões elaboradas como adição na sequência didática para facilitar a demonstração da CRC por parte dos alunos.

1 - Diferencie velocidade tangencial de velocidade angular.
2 - Qual a força que atua entre dois corpos celestes, como por exemplo, o Sol e a Terra, em uma órbita? Qual a direção dela?
3 - Podemos aproximar uma órbita celeste que é elíptica para um círculo? Para isso acontecer, o que deve ser feito?
4 - Qual a força resultante em movimento circular? Qual a direção dela?
5 - Analisando um sistema de órbitas, com relação a equação da força centrípeta, o $m$ da equação se refere ao corpo em órbita ou ao “corpo central”?
6 - Em um sistema de órbitas, qual a relação entre força centrípeta e a força gravitacional? Encontre uma maneira de relacioná-las matematicamente utilizando a segunda lei de Newton.
7 - Isole a grandeza velocidade tangencial na equação encontrada no item anterior e com isso responda: Qual o planeta do sistema solar possui maior velocidade tangencial em sua órbita?

Depois que todos os grupos chegaram à igualdade das forças, apenas dois deles, dentre os cinco, conseguiram demonstrar a equação da curva de rotação de corpos (CRC) e com ela responder que Mercúrio é o planeta com maior velocidade de translação de órbita, pois é o planeta mais próximo do Sol, uma vez que, a velocidade tangencial, nesse caso, é inversamente proporcional ao raio da órbita planetária. Um dos outros três grupos conseguiu deduzir a CRC, porém não foram capazes de interpretar o resultado para responder ao questionamento realizado, indicando, com isso, não possuem recursos conceituais para operarem com relações diretamente ou inversamente proporcionais entre as grandezas físicas. Com isso, foi oferecida uma explicação para toda turma sobre como é realizada a identificação e quais implicações ocorrem com relação à dependência entre grandezas físicas.

Uma outra dificuldade percebida é saber que o “ $m$ ” da equação da força centrípeta se refere exatamente à massa do corpo que está em movimento circular. Ou seja, que seria, no caso, de uma órbita planetária em torno de uma estrela, exatamente a massa do planeta.

Com relação ao minute paper, apenas uma pessoa, dentre os 15 presentes respondeu o questionário disponibilizado no fim da aula, fato esse que corrobora a falta de envolvimento dos alunos. Provavelmente, por ser no fim da aula, já em uma sexta-feira e no período noturno, acabaram deixando a atividade proposta de lado. Faltou também ao professor uma maior ênfase na importância da resposta àquele questionário simples e rápido.

A única resposta dada revela que o principal conceito aprendido no dia foi o relacionado à igualdade que ocorre entre força centrípeta e força gravitacional em um sistema de órbitas. Perguntada sobre como foi a experiência da aula e se gostou da proposta a resposta foi: *“Sim, a interação com os colegas foi a melhor parte, junto com o raciocínio em conjunto para desenvolver o questionamento, muito interessante fez a turma pensar bastante”*. Ainda que foi somente uma pessoa a responder, essa resposta revela um potencial interessante para aulas desse tipo, onde os alunos buscam as respostas em conjunto para as problematizações oferecidas pelo professor.

Então, com relação a este momento da sequência didática, pode-se resumir três dificuldades: Insucesso da estratégia minute paper que pode ter ocorrido pelo contexto de horário que ela foi aplicada, interpretação da aplicação da segunda lei de Newton no movimento de órbitas planetárias e a falta de familiaridade em resolver problemas sem números determinados nas equações.

Diante das observações feitas nesta etapa da sequência didática fica evidente a necessidade de um ensino mais direcionado e interativo, onde os alunos não apenas recebam informações, mas também sejam estimulados a refletir e colaborar ativamente na resolução de problemas. A interação entre os alunos e o professor revelou-se crucial para superar as dificuldades conceituais encontradas, destacando a importância de questionamentos bem elaborados que conduzam os estudantes à compreensão profunda dos temas abordados que podem ser feitos previamente, dando assim mais autonomia para os alunos resolverem o problema.

Estes resultados revelam que os alunos não viveram de forma intensa a manipulação de diferentes representações, sejam algébricas ou até mesmo por meio de diagramas, sendo essas mais diretas, necessitando de menos abstrações, porém, mesmo assim estão longe de serem “como fotos” e normalmente estão fora de escala.

### **4.3. Modelo exploratório e análises de gráficos**

No dia 3 de novembro de 2023 foram aplicadas as ideias descritas na Semana 3 do desenvolvimento desta sequência didática. Nesta aula, estiveram presentes 21 alunos dos 27 matriculados na turma. Os alunos foram mantidos nos mesmos grupos da semana anterior os seis alunos não presentes anteriormente se dividiram em dois novos grupos com 3 integrantes.

A aula começou com a demonstração do experimento de garrafas pet, que pode ser conferido no quadro 2 que mostra uma foto do momento que ele foi apresentado aos alunos.

**Quadro 5** - Foto da aplicação do experimento com garrafas PET em sala de aula



Foi nítida uma interação muito grande dos alunos neste momento da aula, causando interesse pelos questionamentos levantados. Vale lembrar que o experimento foi realizado em duas etapas, uma em que as três garrafas estavam preenchidas com metade de sua capacidade e em outro preenchidas com sua totalidade.

Durante a aplicação do experimento rapidamente os alunos chegaram à conclusão que, no segundo momento, havia mais água nas garrafas, associado ao fato de a quantidade de água na garrafa suspensa ter sido quadruplicada, e por isso elas acabam por girar com maior velocidade. Porém, esse questionamento ficou apenas em conversas durante a apresentação, isso é um fator que pode ser retomado na aplicação do questionário desta aula, provocando assim uma nova reflexão nos alunos, o que acabou não ocorrendo, pois a pergunta número 4 “Você acreditaria que seria possível existir uma relação entre o experimento das garrafas com sua justificativa no item anterior? Se sim, qual (is)?” do questionário número 2, acabou ficando muito ampla e nenhuma resposta contemplou o fato de haver mais massa em uma galáxia do que o esperado, semelhante ao que ocorreu no experimento. Portanto, tornou-se necessário criar questões que tentem retomar esse fato para promover uma maior reflexão na comparação entre as duas situações. Assim, foram criadas 4 questões apresentadas no quadro 5 para serem adicionadas ao questionário 2.

**Quadro 5** - Questões propostas para substituição às aplicadas no questionário 2

1 - Qual foi o motivo das garrafas na segunda situação terem uma velocidade de rotação maior em relação à primeira demonstração?
2 - Era possível saber que havia maior quantidade de massa de água nas garrafas antes da realização do experimento? Justifique.
3 - A velocidade tangencial de translação das estrelas dispostas nos gráficos mostrados são maiores ou menores que o esperado?
4 - As diferenças com relação a velocidade de translação das estrelas nas galáxias podem possuir a mesma justificativa encontrada para as diferentes velocidades encontradas nas duas situações em que o experimento com as garrafas foi submetido?

Com relação às respostas do questionário 3, os grupos conseguiram identificar diferenças entre os gráficos de velocidade em função do raio apresentados para o sistema lunar de Júpiter e os planetas no sistema solar para esse mesmo tipo de gráfico, feito com dados referentes a estrelas em uma galáxia. Entretanto, não conseguiram identificar as possíveis causas e nem o que estava acontecendo com as grandezas físicas relacionadas (Relação entre a velocidade tangencial do movimento e raio de órbita de cada estrela).

Com relação à questão 3 do questionário 2: “Comparando os gráficos velocidade por raio aplicados em galáxias e nos sistemas solar e lunar de Júpiter, responda: a) Existe alguma diferença entre eles? b) Quais seriam?” *a) Nos gráficos de galáxias, as estrelas mais longe do centro se movem mais devagar do que as mais próximas. b) No caso das luas de Júpiter, as mais distantes podem se mover mais devagar que os planetas mais próximos, mas é bem diferente de como as estrelas se movem em galáxias*” algumas respostas a ela fornecem subsídios para o exposto no parágrafo anterior, como: *“a) Nos gráficos de galáxias, as estrelas mais longe do centro se movem mais devagar do que as mais próximas. b) No caso das luas de Júpiter, as mais distantes podem se mover mais devagar que as mais próximas do planeta, mas é bem diferente de como as estrelas se movem em galáxias”*.

Apenas um grupo demonstrou um pouco mais de profundidade em sua resposta, tendo informações sobre como as grandezas físicas envolvidas se relacionam. Sua resposta foi: *“a) Sim existe b) No caso das galáxias, a velocidade das estrelas aumenta com o raio até atingir um*

*valor máximo e depois diminui mais lentamente. No sistema solar e das luas de Júpiter, a velocidade dos planetas diminui com o aumento do raio.”* Portanto, a maior parte dos alunos mostra dificuldade em entender informações de grandezas físicas dispostas em gráficos, porém, um dos seis grupos conseguiu identificar de maneira muito coerente as diferenças entre eles.

#### **4.4. Apresentação sobre matéria escura**

No dia 10/11/2023 foi realizada uma apresentação sistematizando todas as discussões realizadas anteriormente. Esta apresentação inclui desde conceitos iniciais, como o que é massa, até questões relacionadas à interação gravitacional e força centrípeta. Foi feita toda uma retomada das aulas anteriores até chegar na discussão fundamental desta sequência que se refere à CRC aplicada a estrelas em uma galáxia e seus resultados inesperados. Nesta aula estiveram presentes 19 alunos.

Como já mencionado, nenhum grupo conseguiu concluir que uma das possíveis soluções para o problema dos resultados apresentados fosse a presença de uma massa nas galáxias que não emite luz. E neste momento da aula, quando mostrado os gráficos da CRC aplicados em uma galáxia, novamente ninguém apresentou essa ideia. A relação entre a massa e luminosidade parece ser uma questão importante a ser tratada em aulas anteriores a essa, para ajudar na compreensão do problema da matéria escura, assim sendo necessária a adição dela no produto educacional gerado por esta dissertação. Foi percebido que quando uma explicação da relação massa – luminosidade foi oferecida aos alunos, alguns deles tiveram um “insight”, que poderia existir mais massa numa galáxia do que é computado a partir da luminosidade das estrelas, o que é exatamente a ideia da matéria escura. Neste momento, tivemos uma explosão de ideias e empolgação: tínhamos identificado com clareza o problema da matéria escura, a partir dos elementos presentes no debate recém ocorrido, mesclado às ideias trazidas por eles. Os estudantes foram alertados que o “insight” obtido tinha paralelo com aquele que grandes cientistas, como Vera Rubin, tiveram no passado. Com toda certeza, esse foi o ponto alto da sequência didática.

Após esse momento foram apresentados aos alunos os problemas das órbitas de Urano e Mercúrio, na tentativa de evidenciar que já houveram questionamentos na história da ciência com relação à teoria da gravitação newtoniana. Também foram apresentados alguns vídeos que tratam sobre o tema, bem como notícias em geral (links e referências estão nos slides disponibilizados no apêndice C).

Foi evidente o impacto de revisitar conceitos fundamentais relacionados ao movimento circular e integrá-los à complexidade da matéria escura. A ausência inicial de conexão entre massa não luminosa e os fenômenos observados destacou a necessidade de uma abordagem educacional mais contextualizada sobre a relação entre massa e luminosidade das galáxias. Contudo, o despertar de "insights" entre os alunos, ao se depararem com a ideia da matéria escura fazendo também conexões com o experimento da aula anterior demonstra o potencial do processo educativo em estimular a curiosidade e o pensamento crítico com este tipo de abordagem.

Após finalizada a apresentação foi proposta a resolução do questionário 3, que contou com a resposta de 23 alunos. Foram separadas algumas respostas interessantes a serem discutidas.

Com relação à questão 1 *“As leis de Newton relacionadas à gravitação já enfrentaram discrepâncias entre observação e previsões teóricas durante a história da ciência? Cite alguma”*, foi possível notar que a maior parte dos alunos conseguiu entender que os temas discutidos durante a aula são de alguma forma incongruências entre resultados da natureza e teorias até então bem-sucedidas. Ou seja, resultados inesperados com relação às informações disponíveis até o momento. Algumas respostas que demonstram esse fato foram: *“As leis de Newton sobre como os planetas se movem tinham um problema com a órbita de Mercúrio. Elas não explicavam completamente como Mercúrio se movia. Isso levou Albert Einstein a criar uma nova teoria, a relatividade geral”*; *“Sim, pois a lei de Newton tentou explicar a motivação das anomalias no planeta Mercúrio com a existência de outro planeta (Vulcano) mas isso se mostrou ser mentira, pois foi provada a inexistência desse outro planeta”*; *“Sim, foi durante as observações de Fritz Zwicky, que ao observar o movimento de galáxias em aglomerados de galáxias, percebeu que a velocidade não era correspondente a massa visível”*.

É interessante notar que nenhum aluno apontou o problema na órbita de Urano e que apenas um falou sobre o problema da matéria escura. Todas as respostas que tinham um demonstraram um certo entendimento do que foi tratado, falavam sobre o problema de Mercúrio, como nas duas primeiras destacadas no parágrafo anterior.

A questão 2 *“Qual foi a solução para os problemas entre previsão e observação com relação a órbita de Urano?”* mostrou que alguns dos alunos conseguiram identificar que a existência de Netuno solucionava os problemas da órbita de Urano, como demonstrado pelas

respostas: *“Foi resolvido através da descoberta de Netuno; “A descoberta de um novo planeta: Netuno”; Foi encontrado outro planeta, devido a isso Urano não estava no seu local devido a existência da órbita de Netuno.*

A questão 3 “Para você, existe alguma relação entre matéria escura e o problema com a órbita de Urano?” buscava entender se os alunos conseguiam interpretar que assim como na órbita de Urano a solução do problema foi a proposição de existência de mais matéria do que era visto, no caso Netuno, a matéria escura seria a resposta para os problemas no movimento das estrelas em galáxias espirais, existindo mais matéria nas galáxias do que é visto por meio da luminosidade. Nesta pergunta, apenas um aluno conseguiu atingir esta expectativa, tendo como resposta: *“Netuno, a “matéria escura” de Urano, “visto”, primeiro, por meio de cálculos”.*

Todas as outras respostas evidenciam que houve uma falta de entendimento sobre a pergunta, indo para uma interpretação de relação direta da matéria escura e o problema da órbita de Urano, como representam as seguintes respostas: *“Não, porque o problema da órbita de Urano foi que existia outro planeta orbitando ele”; “Não, pois o problema da órbita de Urano está relacionado com a presença do planeta Netuno”.* Desta maneira, fica evidente que esta pergunta deve ser modificada de modo que o objetivo dela fique mais claro aos alunos.

A questão 4 “Com relação à órbita de Mercúrio, a suposição da existência de um planeta mais próximo ao Sol do que ele (Vulcano) se mostrou correta? Justifique” tinha por objetivo analisar se houve entendimento por parte dos alunos que por vezes é necessário criar uma abordagem teórica diferente para resolver um problema na ciência. Pode-se perceber que alguns alunos conseguiram elaborar essa interpretação, como visto nas respostas: *“mesmo após anos de pesquisa não foi comprovada a existência de Vulcano, e graças a um eclipse solar em 1919 que uma nova teoria surgiu e seria comprovada e explicaria a perturbação na órbita de Mercúrio; “Não se mostrou correta, pois ninguém nunca conseguiu avistar esse planeta. Einstein publicou sua teoria da relatividade geral, que provava que a existência de um planeta mais próximo ao Sol não era necessária para que a órbita de Mercúrio fosse explicada”*

Com relação à questão 5 “A teoria gravitacional newtoniana foi capaz de explicar o problema da órbita de Mercúrio? Justifique” ela tinha por objetivo evidenciar interpretações por parte dos alunos que corroborem a análise da questão número 4 e isso foi confirmado,

por meio de respostas como: *“Não, as ideias de Newton sobre gravidade não explicaram tudo sobre como Mercúrio se move. Foi preciso Einstein e suas ideias diferentes para entender melhor o jeito que Mercúrio orbita o Sol. A teoria de Newton sobre como os planetas se movem não explicava completamente como Mercúrio se movia. Havia um problema na órbita dele. Albert Einstein criou uma nova teoria chamada relatividade geral, que resolveu esse problema ao mostrar como o espaço e o tempo ao redor do Sol podem influenciar a órbita de Mercúrio de uma maneira mais precisa”*.

Por fim, por meio da questão número 6, *“Trace um paralelo entre os problemas observacionais entre as órbitas de Urano e Mercúrio com o problema da matéria escura. Em sua opinião, a resolução dessa problemática terá um final mais semelhante com quais dos planetas?”* foi averiguado se cada aluno teve um envolvimento com o tema exposto de modo a expressar sua opinião caso a existência da matéria escura se confirme, como Netuno, ou se houvesse avanços teóricos, a suposição de sua existência não mais seria necessária, como Vulcano, no caso de Mercúrio. Com isso, foi percebido que a maioria dos alunos acreditam mais na segunda possibilidade, como percebido nas respostas: *“Na minha opinião terá um final mais semelhante ao problema de Mercúrio. pois o problema foi resolvido por meio de uma nova teoria física”*; *“Os problemas entre eles não conseguiam ser explicados, com isso foi descoberto Netuno e os cientistas até hoje procuram hipóteses da matéria escura. Acredito que essa problemática terá um final semelhante a Mercúrio”*. Porém, houve um que acreditava mais na primeira possibilidade: *“Acredito que com Urano, pois tem a possibilidade da matéria escura ser outro planeta, estrela ou matéria sem luz.”* Claro, que nessa última resposta falta um aprofundamento teórico, revelando que talvez faltou interpretação que a matéria escura, caso exista, muito provavelmente não é formada por matéria ordinária como planetas e estrelas.

Essas respostas revelam aspectos interessantes sobre como os alunos estão pensando o problema da matéria escura e sua possível resolução. A maioria dos alunos expressa confiança na capacidade da ciência de resolver problemas através do avanço teórico, destacando a importância da construção de novos modelos e teorias para lidar com deficiências observacionais complexas. Porém, não houve nenhum destaque com relação ao indicativo da presença da matéria escura existente também na teoria da relatividade apresentada no final da aula, já nos últimos slides. Isso revela a necessidade de uma ênfase maior nesse fato, pois é um forte indicativo que algo existe quando a suposição de sua existência resolve problemas encontrados em dois campos teóricos diferentes.

#### 4.5. Texto dissertativo

Os textos dissertativos buscaram avaliar se houve evolução na interpretação de como a ciência funciona a partir das relações entre observação e teoria. Foram obtidos dados interessantes, onde alguns alunos conseguiram romper com a ideia anterior e arcaica onde observação seria o cerne para avanços científicos. Foram percebidos trechos nos textos que revelam esse fato. Vão aqui duas frases de dois textos diferentes onde essa constatação pode ser observada: [...] *“Sem teoria, as observações podem ser interpretadas de forma arbitrária e desconectada do contexto mais amplo, enquanto sem observação, as teorias podem permanecer como meras especulações sem fundamentos empíricos. Portanto, é a combinação equilibrada de teoria e observação que sustenta o avanço da ciência.”* “[...] *É importante reconhecer que a relação entre teoria e observação não é uma superior à outra, mas caminham juntas. As teorias fornecem o quadro conceitual dentro do qual as observações são interpretadas, enquanto as observações fornecem os dados para as teorias [...]*”.

A maior parte dos textos conseguiram mostrar aspectos como esses destacados onde teoria e observação na ciência funcionam em uma simbiose, caminhando juntas, não tendo uma hierarquia entre elas. Ao romper com a ideia anterior de que a observação seria o cerne dos avanços científicos, os alunos demonstraram uma compreensão mais sofisticada da importância da combinação equilibrada entre teoria e observação. No entanto, a perspectiva de Bachelard (1972) ressalta a complexidade dessa relação, enfatizando a necessidade de reconhecer as rupturas epistemológicas e o papel crucial da imaginação científica na construção do conhecimento científico não ficando somente nessa dualidade. |

Apesar desta sequência didática possuir atividades que procuram desenvolver os aspectos da imaginação e criatividade na ciência é percebido que não houve menção a esse atributo nos textos dissertativos elaborados pelos alunos. Isto pode ter ocorrido em decorrência do modo que a proposta do texto foi feita: "O que é mais importante para que a ciência evolua: Teoria ou observação?" pois ela induz a uma discussão relacionando apenas esses dois aspectos. Deste modo, é necessário criar uma nova pergunta onde seja possível ajudar os alunos a não ficarem somente nessa dualidade. Assim, a nova pergunta proposta seria: “Para que a ciência avance de maneira eficaz, o que é mais importante: a formulação de teorias, a coleta e análise de dados observacionais, ou a interação entre esses e outros fatores como a imaginação, criatividade e racionalidade? Considere como cada um desses elementos contribui para o progresso científico e como eles se inter-relacionam produzindo um texto dissertativo de no mínimo 20 linhas. Lembre-se dos estudos realizados durante as semanas anteriores desde a matéria escura como

outros problemas estudados com relação a teoria da gravitação de Newton. Com essa nova pergunta é provável que os alunos possam contemplar e avaliar outros aspectos com relação a ciência não focando na dualidade entre teoria e observação.

#### **4.6. Rupturas entre os obstáculos epistemológicos e filosofias do perfil epistemológico**

Como visto por meio das atividades desenvolvidas nos conhecimentos prévios, a filosofia mais marcante com relação ao perfil epistemológico dos conceitos de massa e força era a do realismo ingênuo. Desta forma, a presente sequência didática possibilitou uma ruptura com essa filosofia evidenciando aspectos destes conceitos como: estimar a quantidade de massa de um objeto por meio de cálculos e imaginação científica, não somente por meio dos sentidos; força centrípeta é a força resultante em um determinado problema e pode ser oriunda de relações entre diferente tipos de forças, a depender do contexto; A força gravitacional surge quando um objeto tem massa.

Foi possível perceber durante o avanço das aulas e nas respostas dos questionários posteriores que houve sim por parte de alguns alunos ruptura com relação alguns dos obstáculos epistemológicos trazidos por Bachelard com relação aos conceitos de massa e força, principalmente aspectos ligados à experiência primeira. Pode-se afirmar, com base nas manifestações dos estudantes (algumas delas transcritas aqui) que ocorreu um avanço no perfil epistemológico dos estudantes, que não chegou a níveis de abstração como o racionalismo complexo ou dialético. Porém, é possível afirmar que uma profundidade maior pôde ser associada aos conceitos trabalhados chegando pelo menos no racionalismo clássico, que como demonstraram Dorigon; Miola; Carvalho; Della Justina; e Leite (2019) é a filosofia mais marcante em livros didáticos relacionados à ciência da natureza, o que, portanto, delimitaria o objetivo a se alcançar neste nível de ensino.

Apesar de não ter sido identificado durante o questionário dos conhecimentos prévios, um outro obstáculo epistemológico que pode ser, pelo menos em parte, superado durante esta sequência é o conhecimento geral, pois foi evidenciado que nem sempre uma lei ou teoria pode dar conta de responder alguns dos enigmas trazidos pela natureza, necessitando de um avanço científico, seja na suposição da existência de algo e conseqüentemente sua descoberta

ou também a criação de uma nova teoria que pode explicar aquele fenômeno que as teorias ou leis anteriores não seriam capazes.

## **5. PRODUTO EDUCACIONAL**

Como produto educacional (PE) foi elaborada uma sequência didática tendo como base a sequencialidade do desenvolvimento da pesquisa, no que diz respeito à inserção das discussões que envolvem a temática da matéria escura no Ensino Médio. Ele se encontra no Apêndice C e também pode ser conferido, em formato pdf no próprio site da UCS na página do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PPGE CiMa dentro do campo “dissertações e produtos educacionais”.

Buscou-se produzir um material instrucional, com o objetivo de ser replicado por qualquer professor de física que atue com turmas do Ensino Médio. Desta forma, o produto educacional foi organizado em cinco unidades, explicando as possibilidades que podem ser exploradas e medidas adotadas pelo professor em cada momento. O PE pode ser replicado em sua totalidade ou em partes, dependendo do objetivo do professor que irá aplicá-lo.

A sequência didática trazida no PE possui algumas modificações com relação ao que foi aplicado durante a dissertação. Foi adicionado um questionário, um para auxiliar no desenvolvimento lógico das questões trazidas durante a semana 2 (quando foi feita a demonstração da CRC pelos alunos) e produzidas mais questões para substituir as apresentadas no questionário 2 a fim de propiciar uma maior facilidade em perceber semelhanças entre o modelo demonstrativo e o problema da matéria escura. Também foi adicionado um slide que fala sobre a relação massa-luminosidade dentro dos slides aplicados na semana 4 da sequência. Na semana 5 a pergunta geradora do texto dissertativo foi modificada a fim de propiciar uma avaliação de outros fatores com relação à evolução científica, não somente focando na dualidade entre teoria e observação.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos através das análises dos questionários e observações durante a aplicação da sequência didática trazida nesta dissertação destacam alguns pontos cruciais sobre as concepções prévias, o perfil epistemológico dos alunos em relação aos conceitos de massa e força, bem como sua compreensão sobre o processo científico. Ficou evidente que a maioria dos alunos da turma analisada se encontrava em um estágio inicial de compreensão, predominantemente ligado ao realismo ingênuo e ao empirismo claro e positivista, tanto dos conceitos de massa e força como também refletindo uma visão simplificada da ciência, onde a observação é vista como primordial para estabelecer verdades científicas. Esta tendência pode ser atribuída a várias razões, incluindo a falta de reflexão crítica sobre os conhecimentos adquiridos.

Provavelmente, um fator que pode contribuir para o relatado é o ensino engessado e pouco reflexivo da disciplina de física e até mesmo de outras ligadas a ciências exatas, porém, faltou um aprofundamento maior da pesquisa para se afirmar categoricamente esse fato, o que pode ser melhorado numa pesquisa posterior. Por outro lado, analisando os próprios referenciais teóricos desta dissertação é coerente fazer essa suposição, uma vez que os sintomas destas características de ensino foram identificados, fato esse que legitima, na percepção do autor, o PE, tal como aqui apresentado. Um outro fator a ser destacado é o costume de alguns alunos no uso de inteligências artificiais para realizar suas atividades não se preocupando em questionar ou refletir sobre elas, apenas reproduzindo o que é solicitado.

As atividades da turma na qual foi trabalhada a sequência didática ocorreram no período noturno; uma característica relevante é a de que, neste turno, todos os alunos que participaram da sequência didática trabalhavam durante o dia e nitidamente demonstraram cansaço e com isso, muitas vezes, pouco interesse em estar ali. Esse fato contribuiu para que algumas das atividades solicitadas não fossem realizadas, como no caso do método jigsaw e também do minute paper. Mesmo assim foi observada uma clara evolução por parte de alguns deles, principalmente, no entendimento do conceito de massa: as respostas aos questionários posteriores ao inicial revelaram que é ela que, pela física newtoniana, gera gravidade no Universo, não sendo somente aquilo que é visto ou sentido. Este tipo de afirmação, por parte dos estudantes, indica um rompimento, pelo menos inicial, com um dos obstáculos epistemológicos observados, o da experiência primeira.

Com relação ao conceito de força foi percebida uma dificuldade em como aplicar e interpretar a segunda lei de Newton, principalmente no reconhecimento da força centrípeta como a responsável pela ocorrência de movimentos circulares. Porém, a partir de questionamentos feitos pelo professor, que ajudaram nessa compreensão, alguns dos alunos demonstraram sanar essas dúvidas. Essa constatação levou o autor a construir um novo questionário, a ser aplicado nesse momento da sequência didática. Ele terá a função de fomentar o raciocínio e a reflexão, e diminuir a intervenção do professor aplicador, de modo a proporcionar aos alunos uma maior autonomia.

Na investigação sobre a natureza da evolução científica foi observado que houve, sim, um avanço, com relação à compreensão dos alunos neste aspecto. Entretanto, foi deixada de lado a parte referente à “imaginação científica”; em seu lugar, notou-se, por parte dos alunos, o foco no que eles perceberam como uma relação simbiótica entre teoria e observação. Porém, esse resultado pode ter sido induzido em razão da própria proposta de redação, a qual propôs aos estudantes que estabelecessem o debate em torno desses dois aspectos. Desta maneira, foi necessária uma modificação nesta etapa do PE de modo a torná-la mais aberta, estimulando os alunos a registrarem, de modo o mais espontâneo possível, suas opiniões sobre como acreditam se dar a evolução da ciência.

O PE então produzido conta com inclusões e comentários com relação à sequência didática aplicada nesta dissertação que auxiliarão qualquer professor de física que queira replicá-la, mas não somente professores desta área, é interessante salientar que professores de matemática poderão utilizá-la para ensinar funções, por exemplo, mais especificamente as do tipo  $f(x) = \frac{a}{x}$ , onde  $a$  seria uma constante e  $x$  uma variável. Deste modo, não há necessidade da replicação total do PE, tendo o professor aplicador liberdade para isso, decidindo quais partes do PE irá usar.

A análise realizada ao longo desta sequência didática revela um progresso relativo na compreensão de alguns alunos sobre os conceitos de massa e força, bem como sobre os obstáculos epistemológicos associados a esses conceitos. Ao romper com o realismo ingênuo e considerar a importância da imaginação científica e do raciocínio teórico na interpretação dos fundamentos físicos, eles podem ter uma maior profundidade em sua compreensão dos princípios fundamentais da ciência. Estes resultados, na percepção do autor, indicam claramente que a inserção da temática da matéria escura no ensino médio pode contribuir para o ensino de física

trazendo uma abordagem pedagógica que propicie o pensamento crítico, a reflexão e a imaginação científica, deste modo, auxiliando na superação de alguns dos obstáculos epistemológicos identificados nesta dissertação, os quais, segundo os pressupostos teóricos aqui propostos, são comuns em um ensino que se revela ser predominantemente mecânico desta disciplina.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Flávio Gimenes; NETO, José Izaías Moreira Scherrer; COELHO, Geide Rosa. PROCESSO DE VALIDAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: DA GRAVITAÇÃO AOS BURACOS NEGROS. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 2, p. 66-90, 2022.

BACHELARD, Gaston. **A filosofia do não**. São Paulo: Os pensadores, 1978

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARROCAS, Guilherme Ribeiro Gonçalves. Curvas de rotação de galáxias LSB em aproximação quase-newtoniana da Teoria da Relatividade Geral. 2018. Dissertação de Mestrado.

BARROS, M. A.; NETO, JTJ. Diferentes efeitos de sentidos enquanto obstáculos epistemológicos: contribuições da epistemologia de Bachelard para o ensino de física quântica. **XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2017.

BECKER, Fernando. **Aprendizagem-concepções contraditórias**. Schème: Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas, v. 1, n. 1, p. 53-73, 2008

BRASIL . **Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio**. Brasília: MEC. Versão entregue ao CNE em 03 de abril de 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/BNCC\\_EnsinoMedio\\_embaixa\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site.pdf).

CIRILLO, Cintia Aparecida. **MATÉRIA ESCURA: PROPOSTA DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA A INTRODUÇÃO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO**. 2021. Universidade Federal do ABC.

DAMASIO, Felipe; LORENZETTI, Cristina Spolti; RAICIK, Anabel. O episódio histórico do centenário do eclipse de Sobral e suas implicações para o Ensino de Física por meio da divulgação científica. **Revista Educar Mais**, v. 4, n. 2, p. 294-307, 2020.

DAMINELI, A.; STEINER, J.. O fascínio do universo. São Paulo: **Odysseus**, 2010. Disponível em: Acesso em 25 de set.. 2021.

DORINGON, L., MIOLA, D., CARVALHO, M. A. B., Della Justina, L. A., & Leite, R. F. (2019). Perfil epistemológico para o conceito de transformações apresentado nos livros didáticos de química

da 1ª série do ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 12(1).

DORSCH, Gláuber Carvalho. Um escuro quarto do Universo. *Cadernos de Astronomia*, 2021.

GUSMÃO, Thiago de C.; VALENTE, Julia de A.; DUARTE, S. B. A matéria escura no universo-uma sequência didática para o ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 4, p. e4504, 2017.

ESSER, Larissa; SHNEIDER, Renata; PEREIRA, Kariston. Contribuições da epistemologia de Gaston Bachelard para o ensino de Física: uma revisão sistemática. *Revista de Ciência da Educação*, 2021.

HENRIQUES, Ricardo Miguel Santos. **O minute paper como estratégia de promoção da autorreflexão e da escrita nas aulas de inglês e de espanhol do 3º ciclo do ensino básico**. 2020.

LANDIM, Ricardo Cesar Giorgetti. **Cosmologia do setor escuro**. São Paulo: Mestrado (IF- USP), 2017.

LÍVIO, Mário. A energia escura e o futuro do universo. Revista: **Dicta&Contradicta**, São Paulo, n. 04, dez. 2009. Acesso em 30 de set. 2021.

LUIZ, Vivian Ventura Ferreira. **Matéria escura e o modelo do dubleto inerte**. 2017.

MAKLER, Martin. Lentes Gravitacionais: Um Rico Recurso Didático na Ocasão da Celebração dos 100 Anos do Eclipse de Sobral. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 2, p. 21-36, 2019.

OSTERMANN F.; MOREIRA, M. A. (2017) . **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. Investigações em Ensino de Ciências (Online), Porto Alegre. Acesso em 10 de fev.2022, Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/600/390>>

PEDUZZI, Luiz OQ. Do átomo grego ao átomo de Bohr. **Publicação interna**). Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina.(revisado em julho de 2019). Recuperado de <http://www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br>, 2015.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio?. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

PRAIA, João Felix; CACHAPUZ, António Francisco Carrelhas; GIL-PÉREZ, Daniel. Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 8, n. 1, p. 127-145, 2002.

RAMOS, Tacita Ansanello; SCARINCI, Anne L. Análise de concepções de tempo e espaço entre estudantes do ensino médio, segundo a epistemologia de Gaston Bachelard. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 13, n. 2, p. 009-025, 2013.

REIS, Ana Paula dos. **Dificuldades dos estudantes nas disciplinas de exatas do ensino médio**. 2016. Disponível em <<https://bdm.unb.br/handle/10483/14121>>. Acesso em 20/05/2022.

ROCHA, Joselayne Silva; VASCONCELOS, Tatiana Cristina. **Dificuldades de aprendizagem no**

**ensino de química: algumas reflexões.** Encontro Nacional de Ensino de Química, v. 18, p. 1-8, 2016.

RUBIN, Vera Cooper; FORD JR., W. Kent. 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: 21 jan. 2021.

RUBIN, Vera Cooper. 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-Dark-Matter.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2021.

SAGAN, C. O mundo assombrado pelos demônios. São Paulo: Cia das Letras, 1996.

SOARES, Domingos SL. **A idade do universo, a constante de Hubble e a expansão acelerada.** 2009.

SOJA, Ana Cecília. **O núcleo do aglomerado de galáxias RXC J1504-0248: a natureza das estruturas filamentosas.** Universidade de São Paulo, 2017.

SOUZA D. C. P. de; TEIXEIRA, R. R. P. MATÉRIA ESCURA E ENERGIA ESCURA EM ATIVIDADES DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA. **Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica**, [S. l.], v. 11, n. 01, 2021

STEINER, João E. A origem do Universo. **Estudos avançados, São Paulo**, v. 20, n. 58, Set./Dez. 2006.

TORRES, P. L.; IRALA, E. A. F. **Investigando uma atividade didática elaborada no formato Jigsaw.** São Carlos. 2005. Aprendizagem Colaborativa: Teoria e Prática. Tubarão: Unisul. 1a. ed.

VELTEN, H. E. S. MOND: uma alternativa à mecânica newtoniana. **Revista brasileira de ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 3314.1-3314.5, 2008.

XIMENES, Samuel Jorge Carvalho. **A Matéria Escura.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

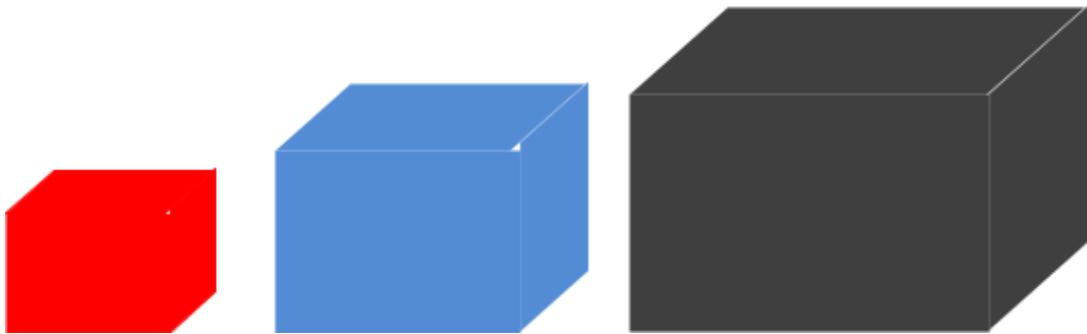
ZWICKY, Fritz. The redshift of extragalactic nebulae (translation to English from the original paper published in German). **HelveticaPhysica Acta**, v. 6, p. 110-127, 1933. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1711/1711.01693.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

## 8. APÊNDICE A

### Questionário 1 - Concepções prévias

1 - Para saber que um objeto existe, precisamos vê-lo? Se há outras formas de saber que o objeto existe, você poderia indicar quais? Comente, se desejar.

2 - Somente observando a uma distância igual, sem tocar ou saber de quais materiais ~~que~~ os objetos abaixo são constituídos, sendo que todos são inteiramente maciços, em sua opinião, qual seria mais difícil de ser carregado? (identifique pela cor). Podes explicar a escolha feita?”



3 - Imagine um grande objeto astronômico (semelhante a um planeta) distante da Terra. Será que existiria algum tipo de interação entre ele e a Terra? Justifique

4 -Na natureza, podem ser observados diversos tipos de movimentos, dentre eles, o movimento da Lua em relação à Terra e o da Terra com relação ao Sol, que são semelhantes. a) Descreva com suas palavras como são esses movimentos. b) A Terra e a Lua estão “ligadas” uma à outra de alguma forma? E a Terra e o Sol, estão ligados? Se você respondeu que há uma ligação, qual seria ela? Comente, se desejar. c) Cite exemplos de movimentos semelhantes que podem ser vistos no seu cotidiano. d) O movimento do sistema Lua – Terra, e do sistema Terra – Sol possuem as mesmas causas? Comente, se desejar.

5 - Analise a situação abaixo



- i) Quando  $F1$  for maior que  $F2$ , então, a velocidade do bloco aponta para a direita.
- ii) Quando  $F2$  for maior que  $F1$ , então, a velocidade do bloco aponta para a esquerda.
- iii) Quando  $F2 = F1$ , então, com toda certeza, o bloco está parado.

As afirmações acima são verdadeiras ou falsas? Comente, se desejar.

6 - Em sua opinião existe alguma semelhança no movimento de um carro fazendo uma curva e a órbita de um planeta?

7 - Galáxias são conjuntos de estrelas, poeira e gás. Em sua opinião, existem semelhanças entre o movimento de estrelas em uma galáxia e planetas, como por exemplo, os do sistema solar? Se você respondeu afirmativamente, quais seriam essas semelhanças?

8 - Existem inúmeros sistemas que estão ligados de maneira gravitacional, como, por exemplo, o sistema Lua e Terra que, por sua vez, fazem parte do Sistema Solar, onde vários planetas e outros astros orbitam o Sol. Existem estruturas, ligadas gravitacionalmente, maiores que o Sistema Solar?

### **Perguntas relacionadas à perspectiva sobre ciência**

9 - Você concorda com a frase "observação e experimentação são o ponto de partida das leis naturais" (Nussenzveig, 1985, p. 5)? Justifique

10 - Uma teoria científica só pode ser validada por meio da experimentação? Existem outros meios? Justifique

11 - Qual das frases a seguir seria a mais condizente com relação a sua visão sobre ciência?

- a) A ciência age em benefício da sociedade, mas não é influenciada por esta.
- b) Na construção científica é possível existir mais de uma teoria para explicar um mesmo fenômeno.
- c) A ciência parte da observação e experimentação levando a um conhecimento comprovado caso exista verificação do mesmo fenômeno por mais de uma pessoa nas mesmas condições anteriores.
- d) A ciência faz uso de um processo lógico de argumentos coerentes entre si sem a necessidade de um experimento observacional para se desenvolver.

12 - Você concorda com o trecho "Observações experimentais são extremamente confiáveis, e nunca apresentam falhas e por isso são a base da elaboração de qualquer teoria científica. Quando um experimento mostra o contrário do que era esperado teoricamente, a teoria a ele relacionada deve ser descartada". Justifique

13 - Nos dias atuais, a ciência foi capaz de explicar diversos fenômenos e criar tecnologias que podem auxiliar a vida cotidiana. Em sua opinião, a ciência já descobriu tudo que tinha para ser solucionado ou quase tudo? Ou ainda existem mistérios a serem descobertos com relação a Natureza que mesmo com toda tecnologia não foram devidamente explicados? Poderia citar alguns deles?

### **Questionário 2 - Aplicado na Semana 3 - Curva de rotação de corpos aplicada em galáxias**

1. Como você poderia definir uma galáxia?
2. Você acredita que estrelas podem estar em órbita dentro de uma galáxia, assim como planetas orbitam uma estrela? Por quê?
3. Comparando os gráficos velocidade por raio aplicados em galáxias, no sistema solar e no sistema lunar de Júpiter, responda: a) Existe alguma diferença entre eles? b) Quais seriam?
4. Você acreditaria que seria possível existir uma relação entre o experimento das garrafas com sua justificativa no item anterior? Se sim, qual (is)?

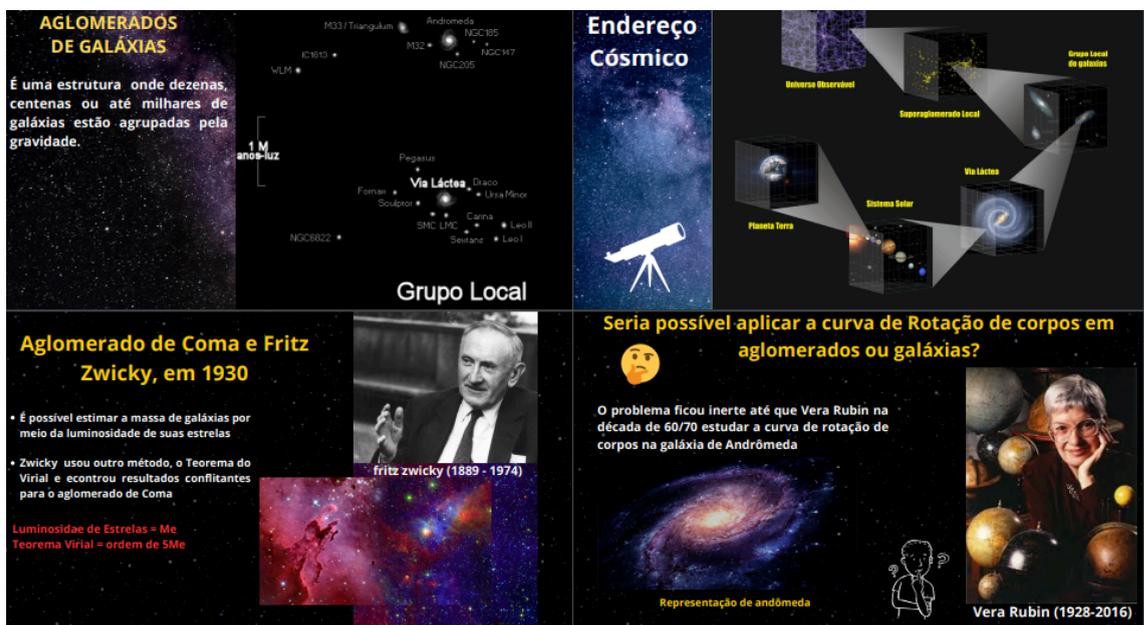
### Questionário 3 - Aplicado na Semana 4 - Mercúrio e Urano

1. As leis de Newton relacionadas à gravitação já enfrentaram discrepâncias entre observação e previsões teóricas durante a história da ciência? Cite alguma.
2. Qual foi a solução para os problemas entre previsão e observação com relação à órbita de Urano?
3. Para você, existe alguma relação entre matéria escura e o problema com a órbita de Urano?
4. Com relação à órbita de Mercúrio, a suposição da existência de um planeta mais próximo ao Sol do que ele (Vulcano) se mostrou correta? Justifique
5. A teoria gravitacional newtoniana foi capaz de explicar o problema da órbita de Mercúrio? Justifique
6. Trace um paralelo entre os problemas observacionais entre as órbitas de Urano e Mercúrio com o problema da matéria escura. Em sua opinião, a resolução dessa problemática terá um final mais semelhante com o final de qual dos planetas?

## 9. APÊNDICE B

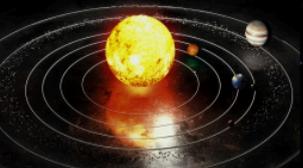
Segue o link de acesso para os slides no canvas: <[https://www.canva.com/design/DAFz\\_XYpYas/eVSRanaMXC47\\_cir9NToEA/edit?utm\\_content=DAFz\\_XYpYas&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAFz_XYpYas/eVSRanaMXC47_cir9NToEA/edit?utm_content=DAFz_XYpYas&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton)>.

Caso não seja possível o acesso, segue os slides em formato JPG onde é possível ver os conteúdos. Os slides são contados da esquerda para direita.



### RELEMBRANDO a CRC...

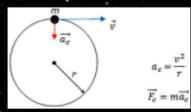
MOVIMENTO DE ÓRBITA



FORÇAS ENVOLVIDAS EM UMA ÓRBITA



Força Gravitacional

$$F_g = \frac{GMm}{d^2}$$


Força Centrípetas

$$F_c = m \cdot a_c$$

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

### Aplicando a segunda lei de Newton

$$F_g = m \cdot a$$

$$F_g = m \cdot a_c$$

$$\frac{GMm}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

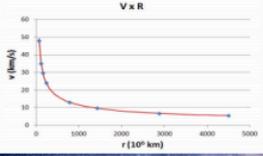
$$\frac{v^2}{r} = \frac{G \cdot M \cdot r}{r^2 \cdot m}$$

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

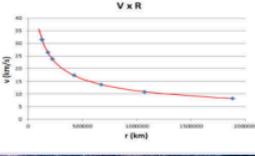
Velocidade tangencial de órbitas (Curva de Rotação de Corpos)

### Curvas de rotação de corpos para o Sistema Solar e para as luas de Júpiter

CRC aplicada nos planetas do Sistema Solar



CRC aplicada as sete primeiras luas de Júpiter



Fonte: XIMENES (2016)

### E para uma galáxia, a CRC ainda funciona?

Antes, algumas considerações...

- Os resultados com relação ao Sistema Solar só são possíveis pois a maior quantidade de massa está presente no próprio Sol (O mesmo vale para o sistema das luas de Júpiter)
- Aglomerados possuem quantidade de massa considerável fora do centro gravitacional comum.
- O mesmo ocorre em galáxias, entretanto, é possível fazermos algumas aproximações.



### Suposições para aplicar a CRC em uma galáxia

- Considera-se uma esfera que englobe massa suficiente para que seja possível "ignorar" a massa de estrelas fora dela.
- A densidade desta esfera seria distribuída de forma homogênea



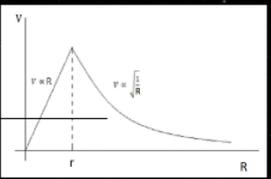
$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

### Partindo das considerações anteriores

$$d(R) = d$$

(...)

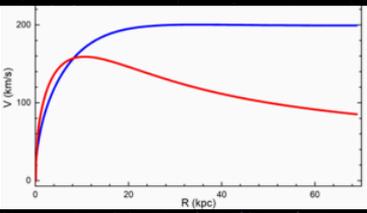
$$M(R) = \frac{M \cdot R^3}{r^3}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r^3} \cdot R}$$


Fonte: XIMENES (2016)

Para  $R \gg r$ , o comportamento retorna ao esperado para órbitas Keplerianas

### Teoria vs Observação

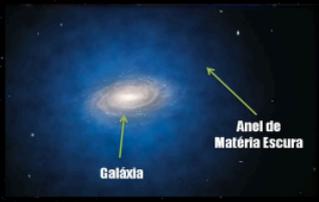


Fonte: BARROCA (2018)

Qual a explicação?



### Modelo de uma galáxia com a Matéria Escura



Galáxia

Anel de Matéria Escura

### Algumas Notícias e vídeos sobre a Matéria escura

<https://www.youtube.com/watch?v=7rMT871U26Y>  
<https://www.youtube.com/watch?v=jLjmfQpkU>

### Divergências no passado

- Descoberta de Urano por William Herschel
- Perturbações na Órbita de Urano e Mercúrio ( Século XIV)

william herschel (1738 - 1822)  
<https://www.youtube.com/watch?v=HMjOjYnYOU&t=23660>

### Urano → Netuno

Johann Gottfried Galle (1812 - 1910)    Urbain Le Verrier (1811 - 1877)

- Netuno, a "Matéria Escura" de Urano, "visto", primeiro, por meio de cálculos
- Existência confirmada em 1846 pelas pesquisas de Johann Gottfried Galle, no Observatório de Berlim.

### Previsões das órbitas de Netuno

- Uranus's predicted position (if Neptune did not exist)
- Uranus's observed position
- Neptune's actual position
- Neptune's position predicted by Le Verrier
- Neptune's position predicted by Adams

O mesmo deve ocorrer com Mercúrio...

Fonte: SACANI 2023

Vulcano foi colocado em mapas astrais

VAMOS ENCONTAR ESSE PLANETA!

### Vulcano o planeta que Einstein expulsa do Sistema Solar

Com a relatividade Geral (Teoria de Einstein para Gravidade) não era necessário a existência de uma planeta mais próximo do Sol que Mercúrio

Desvio da Luz por conta de objetos massivos

Sol    Terra

### Considerações Finais

- Problemas entre teoria e observação foram comuns ao longo da história da ciência.
- Matéria Escura é apenas um dos atuais problemas.
- Será uma nova partícula?
- Será astros super massivos que não emitem luz?
- Será uma nova abordagem teórica?
- Seja como for, quando solucionarmos este problema de quase um século da Matéria Escura, será um grande marco na história da ciência.

### Referências

BARROCAS, Guilherme Ribeiro Gonçalves. Curvas de rotação de galáxias LSB em aproximação quase newtoniana da Teoria da Relatividade Geral. 2018. Dissertação de Mestrado.  
 XIMENES, Samuel Jorge Carvalho. A Matéria Escura. dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.  
 SACANI, SpaceToday. VULCANO - O PLANETA QUE EINSTEIN APAGOU DO NOSSO SISTEMA SOLAR. YouTube, 5 de ago. de 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3E-QPWhgymY>

## 10. APÊNDICE C (Produto Educacional)



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENSINO DE CIÊNCIAS E  
MATEMÁTICA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-  
GRADUAÇÃO

**Produto educacional**

**O enigma da matéria  
escura no Ensino Médio**

**Diego Corrêa Peres de Souza**







# Apresentação

Caro professor,

O presente produto educacional trata-se de uma sequência didática que conta com 5 encontros abordando a temática da matéria escura. Ele é oriundo de uma pesquisa realizada no curso de mestrado profissional do Programa de Pós Graduação de Ensino de Ciências e Matemática (PPGECiMa) da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

Esta sequência didática procura trazer uma maneira de se trabalhar conceitos relativamente introdutórios da física como, por exemplo, a segunda lei de Newton em movimentos circulares. Porém relacionando-os com a problemática da matéria escura que é um conceito quase centenário, porém ainda sem um desfecho satisfatório no que diz respeito a sua natureza.

Desta forma buscou-se alinhar habilidades e competências trazidas pela BNCC (BRASIL, 2018) com aspectos relacionados à história da ciência que envolvem as investigações sobre como se desenvolveu o conceito da matéria escura.



# Introdução

Esta sequência didática está organizada de maneira semanal, onde cada semana contém tópicos a serem trabalhados. Foram planejadas 5 aulas de 100 min dispostas em cinco semanas para serem aplicadas a alunos do Ensino Médio, abordando conceitos relacionados a força centrípeta e a gravitação newtoniana. Para os estudos destes conceitos, serão abordados aspectos ligados às investigações históricas sobre a matéria escura.

Os primeiros indícios da existência da matéria escura surgiram com observações do astrônomo Fritz Zwicky na década de 1930. Ele mediu a massa do aglomerado de galáxias de Coma utilizando o teorema do Virial, o valor encontrado com esse método era maior do que a soma das massas visíveis por meio de emissões eletromagnéticas das galáxias do aglomerado. Portanto, haveria uma “matéria faltante” – a Matéria Escura – responsável por manter o aglomerado coeso (STEINER, 2006). Esse problema entre teoria e observação ficou inerte até a década de 1970.

Os estudos com respeito à Matéria Escura retomaram-se quando Vera Rubin (1928- 2016) mediu a velocidade de rotação de estrelas periféricas da galáxia de Andrômeda e constatou que os valores obtidos não estavam de acordo com o que era esperado teoricamente. Nesta análise, a qual partiu de uma análise da “curva de rotação de corpos (CRC)” foi verificado que existe uma diferença apreciável – da ordem de cinco vezes – entre a matéria visível e a massa para que as equações das teorias conhecidas se satisfaçam. Assim, essa “massa” que aparece somente nos cálculos ficou conhecida como “matéria escura” (LUIZ, 2017). Maiores informações conceituais sobre a matéria escura podem ser conferidas na dissertação que originou esse produto educacional, precisamente da página 19 até a 27 onde pode-se conferir detalhes dos conceitos físicos por trás deste problema.

A sequência a seguir pode ser usada em sua totalidade ou apenas utilizando-se de algumas das atividades propostas durante as semanas adaptando-os conforme a realidade de cada público.



## Semana 1

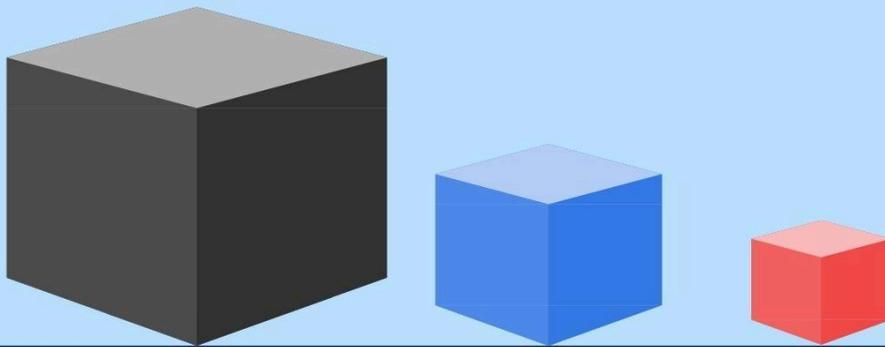
**Momento 1:** Aplicação do questionário 1 que envolve a identificação de conhecimentos prévios relacionados a conceitos básicos das leis de Newton, gravitação universal e concepções da ciência. Sugere-se um tempo para aplicação de 90 min. Com as respostas dadas a essas perguntas é possível traçar o perfil epistemológico da turma com relação aos conceitos de massa, força e natureza da ciência e com isso identificar obstáculos epistemológicos que podem ser superados ao longo da aplicação da sequência didática.

**Momento 2:** Organizar grupos de três integrantes, onde cada um ficará responsável por estudar um tema de pesquisa. O aluno 1: Gravitação Universal, Aluno 2: Órbitas celestes e Aluno 3: Força Centrípeta. Neste momento é aplicado o método jigsaw que cada aluno estuda um subtópico dentro de um tema maior e contribui com uma “peça” para formar, ao final, um único “quebra-cabeça” (TORRES; IRALA, 2005). Sugere-se cerca de 10 minutos para aplicação deste momento.

## Questionário - Concepções prévias

1 - Para saber que um objeto existe, precisamos vê-lo? Se há outras formas de saber que o objeto existe, você poderia indicar quais? Comente, se desejar.

2 - Somente observando a uma distância igual, sem tocar ou saber de quais materiais que os objetos abaixo são constituídos, sendo que todos são inteiramente maciços, em sua opinião, qual seria mais difícil de ser carregado? (identifique pela cor). Podes explicar a escolha feita?"



3 - Imagine um grande objeto astronômico (semelhante a um planeta) distante da Terra. Será que existiria algum tipo de interação entre ele e a Terra? Justifique

4 - Na natureza, podem ser observados diversos tipos de movimentos, dentre eles, o movimento da Lua em relação à Terra e o da Terra com relação ao Sol, que são semelhantes.

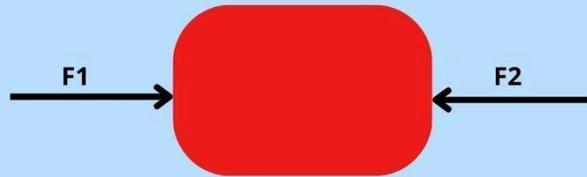
a) Descreva com suas palavras como são esses movimentos.

b) A Terra e a Lua estão "ligadas" uma à outra de alguma forma? E a Terra e o Sol, estão ligados? Se você respondeu que há uma ligação, qual seria ela? Comente, se desejar.

c) Cite exemplos de movimentos semelhantes que podem ser vistos no seu cotidiano.

d) O movimento do sistema Lua - Terra, e do sistema Terra - Sol possuem as mesmas causas? Comente, se desejar.

**5 - Analise a situação abaixo:**



1. Quando  $F1$  for maior que  $F2$ , então, a velocidade do bloco aponta para a direita.
2. Quando  $F2$  for maior que  $F1$ , então, a velocidade do bloco aponta para a esquerda.
3. Quando  $F2 = F1$ , então, com toda certeza, o bloco está parado.

As afirmações acima são verdadeiras ou falsas? Comente, se desejar.

**6 - Em sua opinião existe alguma semelhança no movimento de um carro fazendo uma curva e a órbita de um planeta?**

**7 - Galáxias são conjuntos de estrelas, poeira e gás. Em sua opinião, existem semelhanças entre o movimento de estrelas em uma galáxia e planetas, como por exemplo, os do sistema solar? Se você respondeu afirmativamente, quais seriam essas semelhanças?**

**8 - Existem inúmeros sistemas que estão ligados de maneira gravitacional, como, por exemplo, o sistema Lua e Terra que, por sua vez, fazem parte do Sistema Solar, onde vários planetas e outros astros orbitam o Sol. Existem estruturas, ligadas gravitacionalmente, maiores que o Sistema Solar?**

### Perguntas relacionadas a perspectiva científica

9 - Você concorda com a frase "observação e experimentação são o ponto de partida das leis naturais" (Nussenzveig, 1985, p. 5)? Justifique

10 - Uma teoria científica só pode ser validada por meio da experimentação? Existem outros meios? Justifique

11 - Qual das frases a seguir seria a mais condizente com relação a sua visão sobre ciência?

- a) A ciência age em benefício da sociedade, mas não é influenciada por esta.
- b) Na construção científica é possível existir mais de uma teoria para explicar um mesmo fenômeno.
- c) A ciência parte da observação e experimentação levando a um conhecimento comprovado caso exista verificação do mesmo fenômeno por mais de uma pessoa nas mesmas condições anteriores.
- d) A ciência faz uso de um processo lógico de argumentos coerentes entre si sem a necessidade de um experimento observacional para se desenvolver.

12 - Você concorda com o trecho "Observações experimentais são extremamente confiáveis, e nunca apresentam falhas e por isso são a base da elaboração de qualquer teoria científica. Quando um experimento mostra o contrário do que era esperado teoricamente, a teoria a ele relacionada deve ser descartada". Justifique

13 - Nos dias atuais, a ciência foi capaz de explicar diversos fenômenos e criar tecnologias que podem auxiliar a vida cotidiana. Em sua opinião, a ciência já descobriu tudo que tinha para ser solucionado ou quase tudo? Ou ainda existem mistérios a serem descobertos com relação a Natureza que mesmo com toda tecnologia não foram devidamente explicados? Poderia citar alguns deles?

## Semana 2

**Momento 1:** Organizar grupos de alunos que pesquisaram o mesmo tema para debaterem sobre questões relacionadas a sua pesquisa, espera-se que 20 minutos seja suficiente.

**Adotando essa medida, será possível preencher possíveis lacunas relacionadas ao tema de pesquisa, tanto na dinâmica entre o grupo como em intervenções do professor.**

**Momento 2:** Reorganizar a turma nos formados na aula anterior para que assim com o conhecimento estudado pelos três integrantes (Força Centrípetas, Força Gravitacional e órbitas celestes) eles deverão responder e justificar o questionamento: “Qual planeta do sistema solar possui uma maior velocidade de rotação?”. Sugere-se um tempo de 50 minutos para respostas destas perguntas.

Para auxiliar na resolução deste problema, foram organizadas sete questões disponibilizadas na página 10.

**Neste momento, os alunos deverão chegar na igualdade entre força centrípeta e força gravitacional em uma órbita planetária circular e com isso chegar na relação entre velocidade de órbita de um corpo e seu raio orbital.**

**Perguntas a serem aplicadas no momento 2 da Semana 2**

**1 - Diferencie velocidade tangencial de velocidade angular.**

**2 - Qual a força que atua entre dois corpos celestes, como por exemplo, o Sol e a Terra, em uma órbita? Qual a direção dela?**

**3 - Podemos aproximar uma órbita celeste que é elíptica para um círculo? Para isso acontecer, o que deve ser feito?**

**4 - Qual a força resultante em movimento circular? Qual a direção dela?**

**5 - Analisando um sistema de órbitas, com relação a equação da força centrípeta, o  $m$  da equação se refere ao corpo em órbita ou ao "corpo central"?**

Corpo central é o principal corpo de um sistema gravitacional composto por vários objetos. Esse corpo, contribui com a maior parte da massa daquele sistema e vai, normalmente, estar localizado próximo ao seu centro de massa.

**6 - Em um sistema de órbitas, qual a relação entre força centrípeta e a força gravitacional? Encontre uma maneira de relacioná-las matematicamente utilizando a segunda lei de Newton.**

**7 - Isole a grandeza velocidade tangencial na equação encontrada no item anterior e com isso responda: Qual o planeta do sistema solar possui maior velocidade tangencial em sua órbita?**

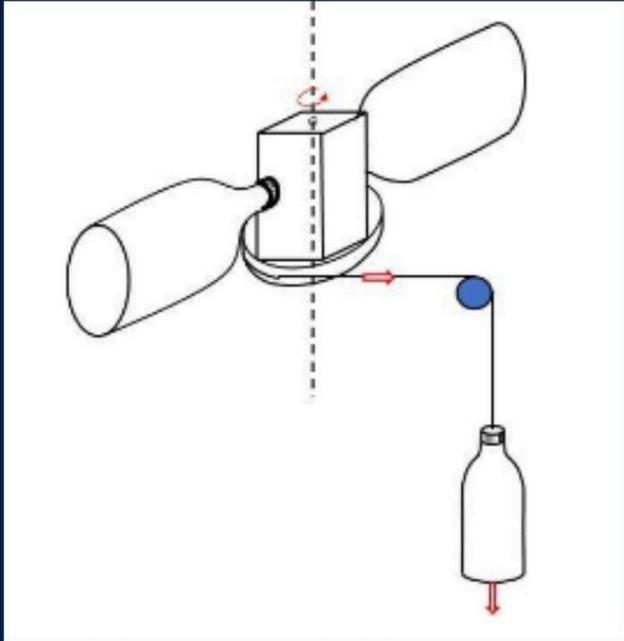
## Semana 3

**Momento 1:** Apresentar um experimento com garrafas PET como simulador de como a presença de massa pode contribuir na velocidade de rotação de diferentes objetos em uma trajetória semelhante ao das órbitas celestes. Um diagrama da montagem do aparato experimental pode ser conferido na página 13. Sugere-se um tempo de 20 minutos para essa apresentação.

**Momento 2:** Reunir os mesmos grupos da semana anterior e apresentar a eles gráficos de velocidades de órbita com o raio médio e sua aplicação teórica e observacional aplicados a estrelas em diferentes galáxias (Gráficos disponíveis no anexo 1). Sugere-se um tempo de 10 minutos para esse momento.

**Momento 3:** Mediante análise destes gráficos e os comparando e comparando-os com os apresentados na semana anterior, solicitar a resolução de um questionário com questões abertas de forma individual pelos alunos. Esse questionário estará disponível a seguir.

## Experimento com as garrafas



Modelo demonstrativo de como a massa pode afetar a velocidade de rotação de um sistema.

O presente diagrama evidencia o funcionamento do experimento que funciona como uma simulação de como a presença de massa em um sistema causa um ganho de velocidade na rotação dos objetos. O experimento pode ser realizado de várias maneiras, mas sugere-se ele seja realizado primeiramente com metade da capacidade de volume das garrafas suspensas pelo fio e depois com capacidade total. Quando as garrafas do sistema rotatório ficam com metade de seu volume com água, uma certa quantidade de água - pequena - pode ser colocada na garrafa suspensa, o que proporciona que a rotação aconteça.

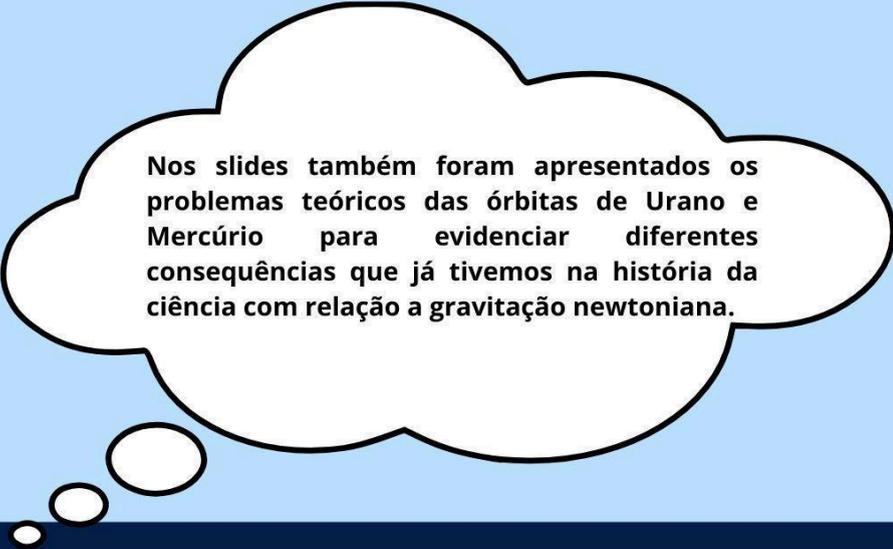
Quando a massa das garrafas do sistema rotatório tem todo o seu volume completado com água, sua massa, como é evidente, dobra. Então, por coerência com a mecânica newtoniana, nestas condições elas simulariam um sistema (um par de astros) que, por ter a massa dobrada, experimentaria uma força gravitacional quatro vezes maior (a distância entre as massas é suposta constante). Por isso, a garrafa suspensa, que representa a força gravitacional entre os dois astros (garrafas) foi multiplicada por quatro. Desta maneira é possível observar que as garrafas, quando com mais água dentro de si, e portanto, com mais massa no sistema, adquirem uma maior velocidade de rotação, a qual possível medir que: o tempo para a rolagem de todo o fio é menor em comparação com o experimento na primeira situação.

A física por trás do experimento é um tanto diferente com relação a um sistema de uma galáxia, mas a ideia é que seja apenas um aparelho de simulação. Para os alunos não verem que as garrafas no segundo momento estão com mais água, recomenda-se que elas estejam pintadas de tinta preta e já previamente preenchidas por água, tendo uma garrafa específica para cada situação. Com isso, é esperado que os alunos consigam relacionar que assim como a presença de uma massa maior do que era esperado nesse sistema causa uma maior velocidade de giro, acontece o mesmo com estrelas em uma galáxia no caso da suposição de existência da matéria escura.

## Semana 4

**Momento 1:** Retomar às discussões anteriores e mostrar como a suposição da existência de uma matéria que não emite luz (matéria escura) pode solucionar os problemas encontrados nas análises feitas nos gráficos apresentados e comparar com as respostas dadas às perguntas dos alunos na semana anterior. Tempo estimado em 100 minutos de apresentação.

**Neste momento as discussões podem ser pautadas pela apresentação de slides disponibilizadas na página a seguir. Neles estão demonstrações, links para vídeos e imagens onde o professor poderá se enteirar e preparar boas discussões com os alunos com relação a temática da matéria escura.**



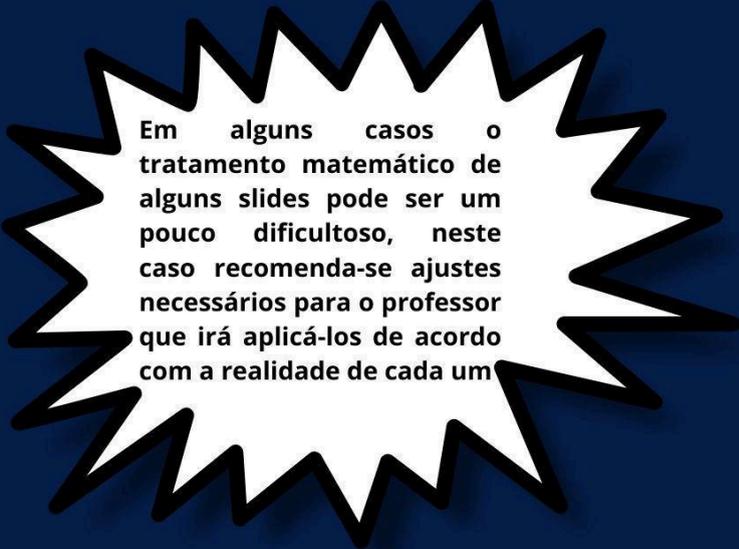
Nos slides também foram apresentados os problemas teóricos das órbitas de Urano e Mercúrio para evidenciar diferentes consequências que já tivemos na história da ciência com relação a gravitação newtoniana.

## **Apresentação de slides sobre matéria escura**

Segue o link de acesso para os slides no canvas:

[https://www.canva.com/design/DAFz\\_XYpYas/eVSRanaMXC47\\_cir9NToEA/edit?utm\\_content=DAFz\\_XYpYas&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAFz_XYpYas/eVSRanaMXC47_cir9NToEA/edit?utm_content=DAFz_XYpYas&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton).

Caso não seja possível o acesso, nas páginas a seguir foram colocados os quadros dos slides para facilitar acesso a eles por parte do leitor.



Em alguns casos o tratamento matemático de alguns slides pode ser um pouco dificultoso, neste caso recomenda-se ajustes necessários para o professor que irá aplicá-los de acordo com a realidade de cada um

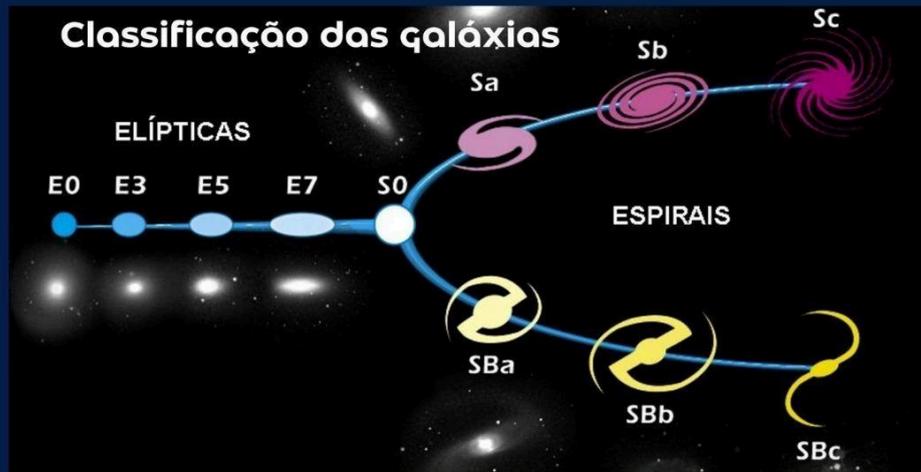


### O que são galáxias?

- Galáxias são sistemas ou conjuntos compostos por estrelas, gases e poeira que possuem um centro gravitacional comum
- Elas são definidas de acordo com a sua forma, podendo ser espirais, elípticas ou irregulares.
- Entre as principais galáxias, temos a Via Láctea, na qual vivemos, Andrômeda, Galáxia do Triângulo e Nuvem de Magalhães."
- Acreditava-se que praticamente toda a da massa de uma galáxia advém de Estrelas. (A massa do Sistema Solar é 99,9% a massa do Sol, portanto, é razoável supor que o mesmo ocorre em todos outros sistemas estelares).



### Classificação das galáxias



# Existem estruturas maiores que galáxias em nosso Universo?



## AGLOMERADOS DE GALÁXIAS

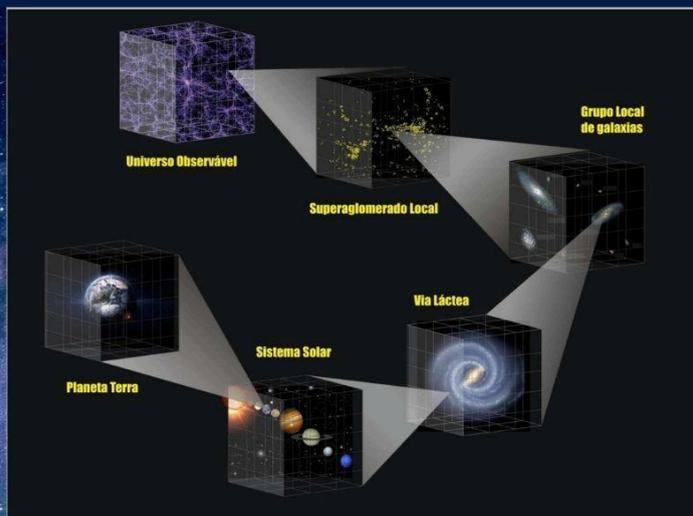
É uma estrutura onde dezenas, centenas ou até milhares de galáxias estão agrupadas pela gravidade.

1 M  
anos-luz



Grupo Local

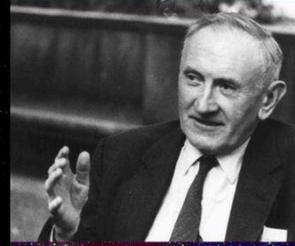
## Endereço Cósmico



## Aglomerado de Coma e Fritz Zwicky, em 1930

- É possível estimar a massa de galáxias por meio da luminosidade de suas estrelas
- Zwicky usou outro método, o Teorema do Virial e encontrou resultados conflitantes para o aglomerado de Coma

Luminosidade de Estrelas =  $M_e$   
 Teorema Virial = ordem de  $5M_e$



fritz zwicky (1889 - 1974)



## Seria possível aplicar a curva de Rotação de corpos em aglomerados ou galáxias?



O problema ficou inerte até que Vera Rubin na década de 60/70 estudar a curva de rotação de corpos na galáxia de Andrômeda



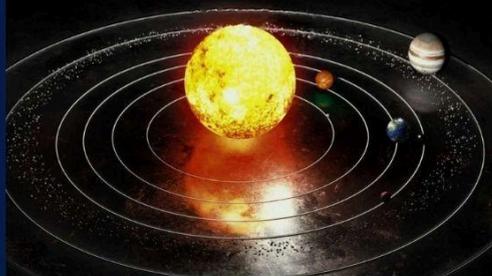
Representação de andrômeda



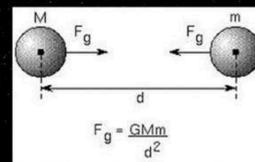
Vera Rubin (1928-2016)

## RELEMBRANDO a CRC...

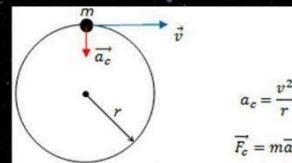
### MOVIMENTO DE ÓRBITA



### FORÇAS ENVOLVIDAS EM UMA ÓRBITA



Força Gravitacional



Força Centrípeta

# Aplicando a segunda lei de Newton

$$F_g = m \cdot a$$

$$F_g = m \cdot a_c$$

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

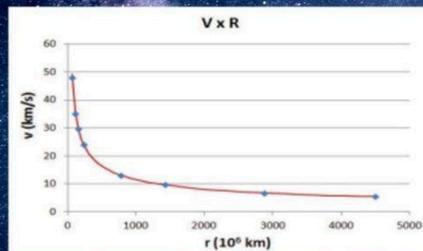
$$v^2 = \frac{G \cdot m \cdot M \cdot r}{r \cdot m}$$

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

Velocidade tangencial de órbitas  
(Curva de Rotação de Corpos)

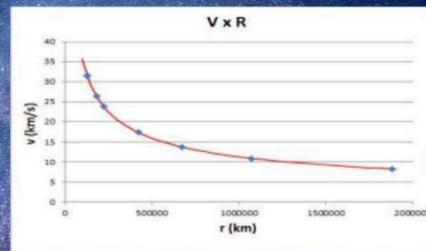
## Curvas de rotação de corpos para o Sistema Solar e para as luas de Júpiter

CRC aplicada nos planetas do Sistema Solar



Fonte: XIMENES (2016)

CRC aplicada as sete primeiras luas de Júpiter



Fonte: XIMENES (2016)

## E para uma galáxia, a CRC ainda funciona?

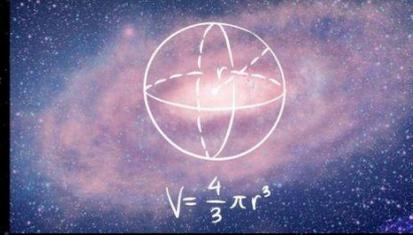


### Antes, algumas considerações...

- Os resultados com relação ao Sistema Solar só são possíveis pois a maior quantidade de massa está presente no próprio Sol (O mesmo vale para o sistema das luas de Júpiter)
- Aglomerados possuem quantidade de massa considerável fora do centro gravitacional comum.
- O mesmo ocorre em galáxias, entretanto, é possível fazermos algumas aproximações.

## Suposições para aplicar a CRC em uma galáxia

- Considera-se uma esfera que englobe massa suficiente para que seja possível "ignorar" a massa de estrelas fora dela.
- A densidade desta esfera seria distribuída de forma homogênea



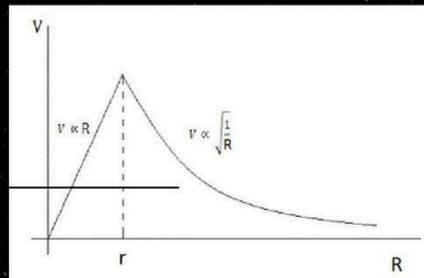
## Partindo das considerações anteriores

$$d(R) = d$$

(...)

$$M(R) = \frac{M \cdot R^3}{r^3}$$

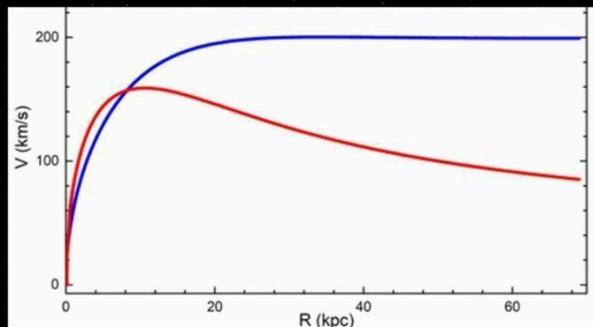
$$v = \sqrt{\frac{GM}{r^3}} \cdot R$$



Fonte: XIMENES (2016)

Para  $R \gg r$ , o comportamento retorna ao esperado para órbitas Keplerianas

## Teoria vs Observação



Fonte: BARROCA (2018)

Qual a explicação?



## Modelo de uma galáxia com a Matéria Escura



## Algumas Notícias e vídeos sobre à Matéria escura

<https://www.youtube.com/watch?v=7rMT871U26Y>



**Astrônomos criam mapa inédito da matéria escura no Universo**  
 O registro é o mais detalhado que se tem notícia e confirma a teoria de Einstein de como as estruturas massivas crescem e evoluem a luz

<https://revistagalileo.globo.com/ciencia/espaco/noticia/2023/05/astrofísicos-criam-mapa-inedito-da-materia-escura-no-universo.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=JLjimhFQpku>

## Divergências no passado

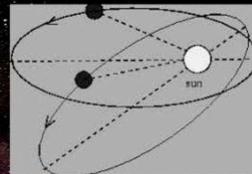
- Descoberta de Urano por William Herschel
- Perturbações na Órbita de Urano e Mercúrio ( Século XIX)



william herschel (1738 - 1822)



Representação das perturbações das órbitas de Urano



Precessão do periélio de mercúrio

<https://www.youtube.com/watch?v=HMvOlyfNYOU&t=236s>

**Urano**



**Netuno**






Johann Gottfried Galle(1812 - 1910)     Urbain Le Verrier (1811 - 1877)

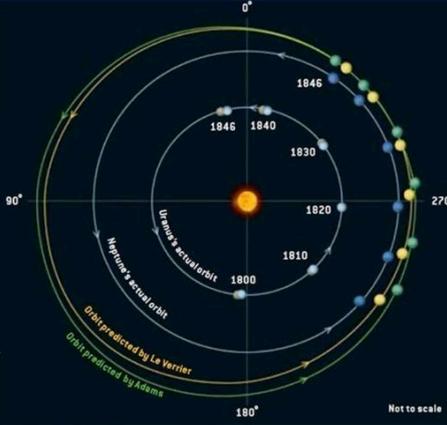
- Netuno, a "Matéria Escura" de Urano, "visto", primeiro, por meio de cálculos
- Existência confirmada em 1845 pelas pesquisas de Johann Gottfried Galle, no Observatório de Berlim.



### Previsões das órbitas de Netuno

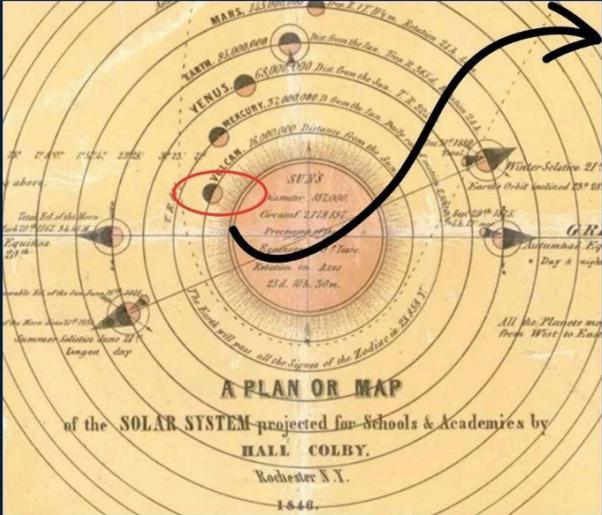
- Uranus's predicted position (if Neptune did not exist)
- Uranus's observed position
- Neptune's actual position
- Neptune's position predicted by Le Verrier
- Neptune's position predicted by Adams

**O mesmo deve ocorrer com Mercúrio...**



Not to scale

**Fonte: SACANI 2023**



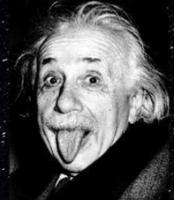
**Vulcano foi colocado em mapas astrais**

VAMOS ENCONTAR ESSE PLANETA!



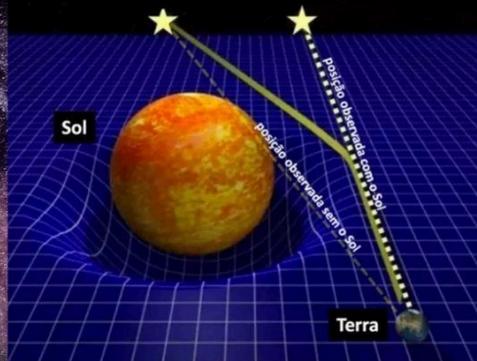
## Vulcano o planeta que Einstein expulsa do Sistema Solar

Com a relatividade Geral (Teoria de Einstein para Gravidade) não era necessário a existência de um planeta mais próximo do Sol que Mercúrio



Albert Einstein  
(1879 - 1955)

### Desvio da Luz por conta de objetos massivos



## Considerações Finais

- Problemas entre teoria e observação foram comuns ao longo da história da ciência.
- Matéria Escura é apenas um dos atuais problemas.
- Será uma nova partícula?
- Será astros super massivos que não emitem luz?
- Será uma nova abordagem teórica?
- Seja como for, quando solucionarmos este problema de quase um século da Matéria Escura, será um grande marco na história da ciência.



## Referências

- BARROCAS, Guilherme Ribeiro Gonçalves. Curvas de rotação de galáxias LSB em aproximação quase-newtoniana da Teoria da Relatividade Geral. 2018; Dissertação de Mestrado.
- XIMENES, Samuel Jorge Carvalho. A Matéria Escura. dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.
- SACANI, SpaceToday. VULCANO - O PLANETA QUE EINSTEIN APAGOU DO NOSSO SISTEMA SOLAR. YouTube, 5 de ago. de 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3E-QPWhgymY>

## Perguntas a serem aplicadas após apresentação dos slides

- 1 - As leis de Newton relacionadas à gravitação já enfrentaram discrepâncias entre observação e previsões teóricas durante a história da ciência? Cite alguma.
- 2 - Qual foi a solução para os problemas entre previsão e observação com relação à órbita de Urano?
- 3 - Para você, existe alguma relação entre matéria escura e o problema com a órbita de Urano?
- 4 - Com relação à órbita de Mercúrio, a suposição da existência de um planeta mais próximo ao Sol do que ele (Vulcano) se mostrou correta? Justifique
- 5 - A teoria gravitacional newtoniana foi capaz de explicar o problema da órbita de Mercúrio? Justifique
- 6 - Trace um paralelo entre os problemas observacionais entre as órbitas de Urano e Mercúrio com o problema da matéria escura. Em sua opinião, a resolução dessa problemática terá um final mais semelhante com o final de qual dos planetas?

## Semana 5

**Momento 1:** Apresentar aos alunos a pergunta:

Para que a ciência avance de maneira eficaz, o que é mais importante: a formulação de teorias, a coleta e análise de dados observacionais, ou a interação entre esses e outros fatores como a imaginação, criatividade e racionalidade? Considere como cada um desses elementos contribui para o progresso científico e como eles se inter-relacionam. Um tempo de aproximadamente 100 minutos deve ser suficiente para aplicação da atividade.

**Sugestão de resposta: solicite um texto dissertativo de no mínimo 20 linhas. Lembre os alunos dos estudos realizados durante as semanas anteriores desde a matéria escura como outros problemas estudados com relação a teoria da gravitação de Newton.**

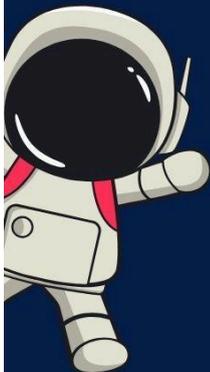
**Como avaliação sugere-se que seja comparado as repostas dadas ao primeiro questionário das concepções prévias e todas as repostas dos outros questionários e do texto produzido na última semana. Com isso avalie a evolução gradual dos conceitos relacionados a massa, força e concepção científica a partir da aplicação desta sequência didática.**

# Mensagens finais

Espero que esta sequência didática tenha auxiliado no preparo de aulas envolvendo essa temática tão misteriosa que é a matéria escura. A busca pelo conhecimento é interminável, e cada nova descoberta nos aproximamos um pouco mais de compreender alguns dos segredos do universo.

Que a experiência do envolvimento com ela incentive o professor e seus alunos a continuar explorando, questionando e aprendendo. Lembrem-se de que a ciência é uma aventura coletiva, onde cada pequena descoberta contribui para um entendimento maior. Nas referências estão contidos artigos que embasam e dão um aprofundamento maior nas questões que envolvem a matéria escura. Qualquer dúvida conta-me.

Email: [peres.souza@aluno.ifsp.edu.br](mailto:peres.souza@aluno.ifsp.edu.br)  
Celular: (54) 997137390



## Referências bibliográficas

ALVARENGA, Flávio Gimenes; NETO, José Izaías Moreira Scherrer; COELHO, Geide Rosa. PROCESSO DE VALIDAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: DA GRAVITAÇÃO AOS BURACOS NEGROS. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 17, n. 2, p. 66-90, 2022.

BACHELARD, Gaston. *A filosofia do não*. São Paulo: Os pensadores, 1978

BACHELARD, Gaston. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARROCAS, Guilherme Ribeiro Gonçalves. *Curvas de rotação de galáxias LSB em aproximação quase-newtoniana da Teoria da Relatividade Geral*. 2018. Dissertação de Mestrado.

CIRILLO, Cintia Aparecida. *MATÉRIA ESCURA: PROPOSTA DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA A INTRODUÇÃO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO*. 2021. Universidade Federal do ABC.

RUBIN, Vera Cooper; FORD JR., W. Kent. 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: 21 jan. 2021.

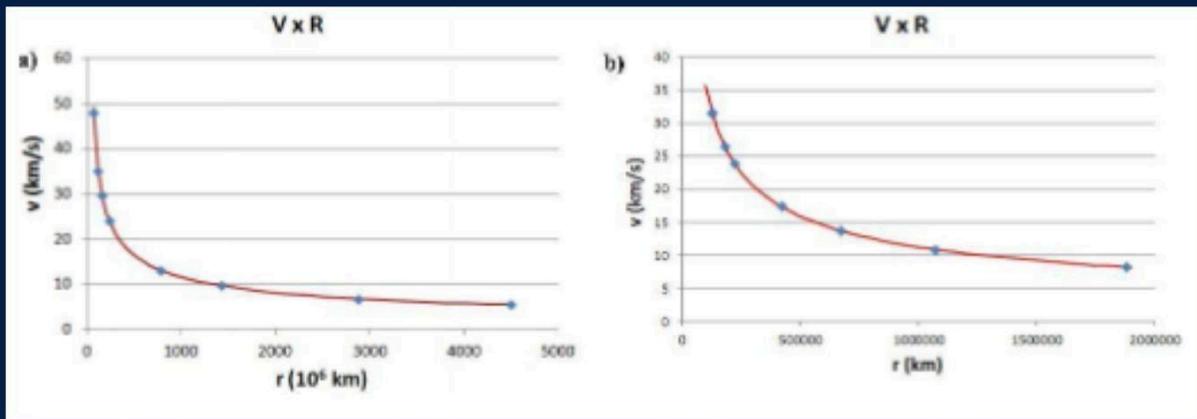
RUBIN, Vera Cooper. Seeing dark matter in the Andromeda galaxy. *Physics Today*, v. 59, n. 12, p. 8-9, 2006. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~hoyos/courses/2016/FCM0102/Vera-Rubin-Dark-Matter.pf>. Acesso em: 27 jan. 2021.

XIMENES, Samuel Jorge Carvalho. *A Matéria Escura*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

## Anexo A - gráficos

### Gráficos para serem apresentados na semana 2

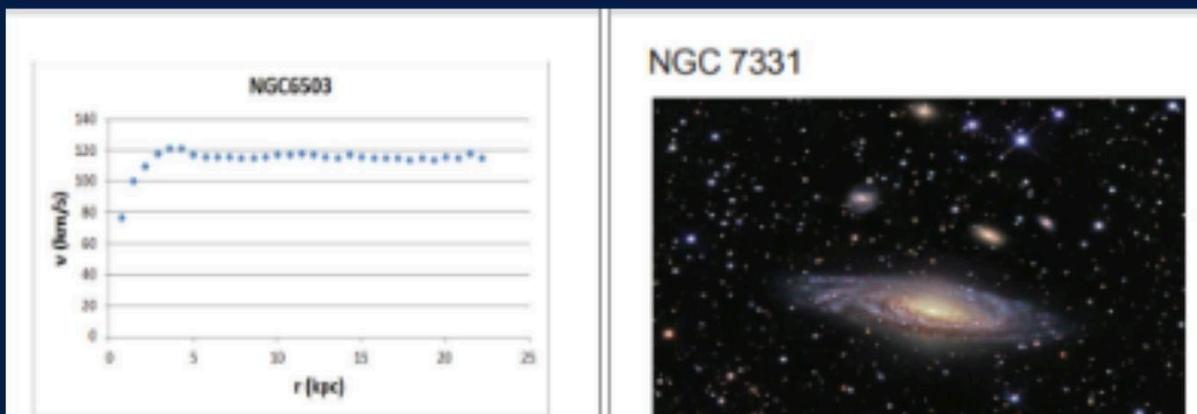
Gráfico a), CRC aplicada em observações dos planetas do sistema solar. Gráfico b), CRC aplicada em observações das sete primeiras luas de Júpiter. Linhas em vermelho, dados teóricos. Pontos em azul, pontos experimentais.



fonte: XIMENES (2016)

### Gráfico para ser apresentado na semana 3

Gráfico de velocidade (km/s) por raio (kpc) com relação as estrelas da galáxia NGC6503. Pontos azuis representam as velocidades médias de translação das estrelas desta galáxia.



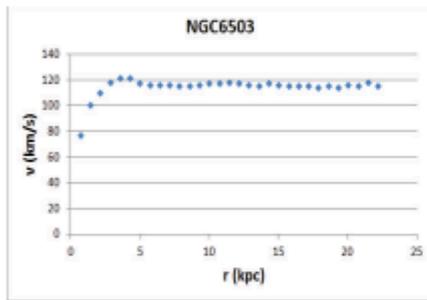
fonte: XIMENES (2016)

11. ANEXO A

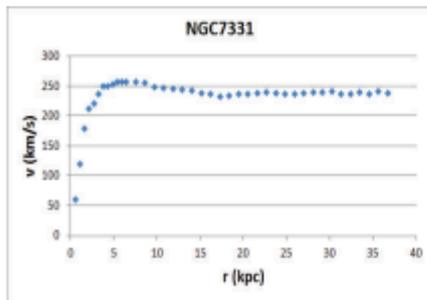
Exemplo de galáxia



NGC 6503



NGC 7331



NGC 2903



fonte: XIMENES (2016)