



.....
Gabriel Fonseca^{1,2} , Vitor Acioly^{1,2,3#} 

¹Laboratório de Pesquisa em Ensino e Divulgação da Ciência, Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

²Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Pólo 15, Sociedade Brasileira de Física, Brasil.

³Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Natureza, Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

.....
Palavras-chave

ensino de física
matéria escura
transposição didática
educação científica

Resumo

Este artigo propõe uma abordagem didática para o ensino de matéria escura no Ensino Médio, articulando fundamentos da física contemporânea com estratégias acessíveis e alinhadas à Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A partir de referenciais teóricos da educação científica e da transposição didática, discute-se como temas de fronteira, como a matéria escura, podem ser trabalhados em sala de aula por meio de dados reais e discussão de evidências. São apresentados conceitos fundamentais, o histórico das descobertas, os avanços internacionais - incluindo o CERN e o telescópio James Webb - e a contribuição de pesquisadores brasileiros. A proposta didática visa aproximar ciência e educação, promovendo o pensamento crítico, o letramento científico, com base no Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), e a valorização da ciência nacional no ensino de física.

1. Introdução

A física contemporânea tem desafiado os limites do conhecimento humano ao investigar fenômenos ainda não plenamente compreendidos, como é o caso da matéria escura - um componente invisível do Universo que interage gravitacionalmente,

A matéria escura - um componente invisível do Universo que interage gravitacionalmente, mas não emite radiação eletromagnética detectável - desafia os limites do conhecimento humano

seja constituída por essa matéria ainda misteriosa, contrastando com os 5% da matéria bariônica, ou seja, a matéria que conhecemos e estudamos diretamente [1, p. 15]. No entanto, apesar de sua relevância científica, filosófica e tecnológica, assuntos como a matéria escura permanecem quase ausentes dos currículos escolares da educação básica no Brasil.

Autor de correspondência. E-mail: vitoracioly@id.uff.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2026, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

Essa lacuna evidencia um problema persistente: a distância entre a ciência produzida nas universidades e centros de pesquisa e o que é efetivamente ensinado nas escolas.

A ideia de um ensino de física contextualizado está cada vez mais presente no discurso dos professores e educadores, o que não significa, necessariamente, que seja uma prática corrente na escola. [2, p. 31]

Essa distância compromete não apenas o acesso dos estudantes à ciência de fronteira, mas também o desenvolvimento de competências associadas ao pensamento crítico, à criatividade e à compreensão do papel da ciência na sociedade contemporânea.

Nesse cenário, é urgente ampliar o espaço da cosmologia e da astrofísica no ensino de física, não como temas periféricos ou “extras”, mas como parte essencial da formação científica dos jovens. Ao discutir questões como a origem, a composição e o destino do Universo, abre-se espaço para diálogos interdisciplinares com a filosofia, a história da ciência, a matemática e as tecnologias digitais - ampliando as possibilidades de ensino-aprendizagem. Tais temas, além de despertarem a curiosidade e o encantamento, possibilitam que os estudantes compreendam que a ciência está em permanente construção, sendo guiada por perguntas ainda sem respostas definitivas, e não é uma descrição definitiva da natureza [3, p. 29].

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) [4] reconhece a importância de integrar ciência, tecnologia e sociedade (CTS) como eixo estruturante do ensino de ciências. Entre as competências gerais previstas, destacam-se a valorização do conhecimento científico como forma de interpretar o mundo, o desenvolvimento da argumentação baseada em evidências e o protagonismo dos estudantes na busca por soluções criativas para os desafios contemporâneos. Inserir temas como a matéria escura no Ensino Médio, portanto, está plenamente alinhado às diretrizes da BNCC, ao mesmo tempo em que contribui para a formação de cidadãos mais críticos, informados e engajados.

Este artigo propõe uma abordagem integrada sobre a matéria escura, articulando sua história e funda-

mentos, os avanços científicos recentes - incluindo o papel da Organização Europeia para a Investigação Nuclear (CERN) -, a participação do Brasil em colaborações internacionais e, sobretudo, uma proposta didática acessível e realizável, baseada em materiais de baixo custo e recursos digitais simples. Mais do que transmitir conteúdos, busca-se aqui contribuir com uma proposta formativa que reaproxime a escola da ciência viva, valorizando o professor como mediador de saberes e como agente de transformação no processo educativo.

2. O que é matéria escura?

A matéria escura é um dos maiores enigmas da física contemporânea. Recebe esse nome porque não emite, não reflete nem absorve radiação eletromagnética - ou seja, não pode ser observada diretamente por telescópios ou detectores convencionais de luz. Ainda assim, sua existência é inferida a partir dos efeitos gravitacionais que ela exerce sobre a matéria visível no Universo.

Estima-se que cerca de 26% do Universo seja composto por matéria escura, enquanto a matéria “comum”, chamada de bariônica (aquela que forma átomos, estrelas e planetas), corresponde a apenas cerca de 5%. Os 69% restantes são atribuídos à chamada energia escura, que atua de

forma oposta à da matéria escura, como veremos a seguir.

2.1. Matéria escura x Energia escura: qual é a diferença?

Embora os nomes sejam semelhantes, matéria escura e energia escura são conceitos distintos, como é apresentado no Quadro 1.

Enquanto a matéria escura mantém as galáxias unidas, evitando que suas estrelas sejam lançadas ao espaço, a energia escura acelera a expansão do Universo, como demonstrado pelas observações de supernovas distantes e da radiação cósmica de fundo de microondas.

A existência da matéria escura não foi detectada diretamente, mas deduzida a partir de evidências gravitacionais acumuladas desde o início do século XX:

Quadro 1: Matéria escura e energia escura.

Característica	Matéria escura	Energia escura
Interação com a luz	Não interage com a luz (não pode ser vista)	Também não interage com a luz
Ação gravitacional	Atrai (atua como “cola” do Universo)	Repele (causa a expansão acelerada do Universo)
Função principal	Explica curvas de rotação galáctica, estrutura cósmica	Explica a aceleração da expansão cósmica
Percentual do Universo	~26%	~69%

Fonte: Adaptado da Ref. [1].

1. Fritz Zwicky, em 1933, ao determinar a massa do superaglomerado de Coma, usou dados do desvio para o vermelho (*redshift*) levantados por Milton Humason e Edwin Hubble, em 1931, para determinar as velocidades das galáxias; obtida a massa por esse método, comparou com a massa inferida a partir da luminosidade do aglomerado e observou que a massa deveria ser 400 vezes maior do que aquela observada pela matéria luminosa para explicar a velocidade das galáxias; inferiu, então, a existência de matéria escura.
2. Curvas de rotação de galáxias: a partir dos anos 1970, Vera Rubin e Kent Ford mediram a velocidade de rotação de estrelas em galáxias espirais. Ao contrário do esperado (esperava-se a diminuição da velocidade com a distância ao centro, como nos planetas do Sistema Solar), as velocidades permaneciam praticamente constantes. Isso sugeria a presença de uma grande quantidade de massa invisível, formando um “halo” em torno das galáxias.
3. Lentes gravitacionais: previstas por Einstein, as lentes gravitacionais ocorrem quando a luz de objetos distantes é desviada pela gravidade de estruturas massivas no caminho. O grau de distorção do espaço-tempo observado em aglomerados de galáxias só pode ser explicado se houver muito mais massa do que aquela visível, como descrito no trabalho de Clovee cols. [5].
4. Distribuição de galáxias e fundo cósmico de microondas: missões como WMAP e Planck [1, 6] mediram com precisão as flutuações de temperatura no fundo cósmico de microondas, revelando indícios da densidade e a composição do Universo primitivo. Esses dados só se ajustam corretamente aos modelos cosmológicos se considerarmos a presença da matéria escura como componente majoritário da gravidade na formação de estruturas.

A velocidade de rotação de estrelas em galáxias espirais observadas por Rubin e Ford sugeriam a presença de uma grande quantidade de massa invisível, formando um "halo" em torno das galáxias

2.2. Referencial teórico: como levar isso para a sala de aula?

A complexidade do tema impõe um desafio à sua introdução na educação básica. Segundo Chevallard [7], esse processo exige transposição didática, ou seja, a reorganização dos saberes científicos para que se tornem compreensíveis e significativos no contexto escolar. Isso implica selecionar analogias acessíveis, construir modelos simplificados e propor investigações que estimulem o raciocínio científico, sem abrir mão da precisão conceitual.

Astolfi [8] também enfatiza a importância de não transformar o ensino de ciências em mera reprodução de fórmulas, mas sim em um espaço de investigação, dúvida e construção ativa do conhecimento. Ao trazer

a matéria escura para o ensino médio, o professor proporciona aos alunos o contato com um conhecimento em construção, abrindo espaço para o diálogo sobre os limites do saber, o papel da ciência e seu processo de desenvolvimento e a natureza do Universo.

3. Breve história da descoberta

A trajetória do conceito de matéria escura é marcada por descobertas indiretas e progressivas, que revelam não apenas a complexidade do Universo, mas também o modo como o conhecimento científico é construído por meio de evidências, hipóteses e debates contínuos.

O primeiro indício consistente da existência de uma matéria não visível no Universo foi apresentado pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky, em 1933. Ao estudar o aglomerado de galáxias de Coma, Zwicky aplicou o teorema do virial para calcular a massa total do aglomerado a partir das velocidades das galáxias que o compunham. Ele percebeu que a massa inferida gravitacionalmente era muito maior do que aquela observada a partir da luminosidade das galáxias. A essa discrepância, ele chamou de “matéria escura” (*dunkle-Materie*, em alemão) - uma substância invisível responsável por manter as galáxias coesas dentro do aglomerado [9].

Apesar da relevância da descoberta, os resultados de Zwicky foram inicialmente recebidos com ceticismo e ficaram, por décadas, à margem dos debates astronômicos. Foi apenas na década de 1970 que o conceito ganhou força, graças aos trabalhos da astrônoma americana Vera Rubin e do físico Kent Ford, ao investigarem as curvas de rotação de galáxias espirais. Eles observaram que as estrelas nas regiões externas das galáxias giram com velocidades praticamente constantes, contrariando as previsões da física newtoniana baseada apenas na matéria visível [10]. Esses dados reforçaram a hipótese da presença de uma enorme quantidade de matéria invisível ao redor das galáxias - o chamado “halo de matéria escura”.

Ao longo das décadas seguintes, outras evidências independentes foram sendo reunidas, consolidando a aceitação da matéria escura como componente essencial do modelo cosmológico padrão, o Λ CDM (Lambda Cold Dark Matter). Destacam-se, entre elas, as observações do fundo cósmico de microondas feitas pela sonda de anisotropia de microondas Wilkinson (WMAP) e, mais recentemente, pela missão Planck, que permitiram calcular com precisão as proporções dos diferentes componentes do Universo- incluindo matéria escura e energia escura [1].

Outras fontes importantes de evidência vêm dos estudos sobre lentes gravitacionais (fortes e fracas), colisões de aglomerados (como o Bullet Cluster) e simu-

lações computacionais da formação de estruturas cósmicas em grande escala. Tais estudos demonstram que, sem a presença de matéria escura, as galáxias e aglomerados não poderiam ter se formado no tempo estimado desde o Big Bang.

Além disso, o modelo cosmológico aceito sustenta que logo após o Big Bang, o Universo passou por uma expansão extremamente rápida; se a matéria escura fosse composta de átomos, como a matéria comum, ela teria deixado evidências claras no “céu”, conhecidas como radiação cósmica de fundo em microondas (CMB). No entanto, não foram observadas tais evidências. Conclui-se, então, que a matéria escura deve ser não-bariônica [11].

Essa breve trajetória revela a complexidade e a natureza progressiva do conhecimento científico: a matéria escura foi aceita não por uma descoberta direta, mas pela acumulação de anomalias e inconsistências que só puderam ser resolvidas com a introdução de um novo componente. Como aponta Thomas Kuhn [12], tais momentos de “crise” nos paradigmas científicos são férteis para revoluções conceituais - e a matéria escura continua sendo um dos maiores candidatos a gerar transformações futuras na física, na astrofísica e na cosmologia.

4. Frentes contemporâneas de investigação sobre matéria escura

O estudo da matéria escura constitui hoje uma das principais fronteiras da física contemporânea, mobilizando diferentes áreas do conhecimento, desde a física de partículas até a cosmologia observacional e a astrofísica nuclear. A inexistência, até o presente momento, de uma detecção direta dessa forma de matéria evidencia tanto a complexidade do fenômeno quanto o desafio epistemológico envolvido em sua investigação. Em resposta a isso, diversas frentes experimentais vêm sendo desenvolvidas internacionalmente, articulando metodologias complementares que buscam confirmar, refutar ou refinar os modelos propostos.

4.1. Colisores de partículas e o papel do CERN

Na fronteira da física de partículas, destaca-se o trabalho realizado no CERN, especialmente no Grande Colisor de Hádrons (LHC). Ali, experimentos como o ATLAS e o CMS buscam indícios de partículas candidatas à matéria escura, como as WIMPs (*weakly interacting massive particles*), que poderiam ser produzidas nas colisões de prótons em altíssimas energias. Esses experimentos procuram por “eventos com energia ausente” ou assinaturas que indiquem a produção de partículas que não interagem com os detectores convencionais [13].

O estudo da matéria escura constitui hoje uma das principais fronteiras da física contemporânea, mobilizando diferentes áreas do conhecimento, desde a física de partículas até a cosmologia observacional e a astrofísica nuclear

A ausência de resultados conclusivos até o momento não invalida a hipótese, mas fortalece o papel dessas experiências no estabelecimento de limites de exclusão para diferentes modelos teóricos, promovendo uma constante revisão do arcabouço conceitual das teorias além do Modelo Padrão [13].

4.2. Detecção direta: experimentos subterrâneos com materiais nobres

Outra abordagem central na busca por matéria escura é a detecção direta por meio de colisões hipotéticas entre partículas do halo galáctico e núcleos atômicos. Experimentos como a XENON Collaboration[14], na Itália, a LZ Collaboration[15], nos Estados Unidos da

América e o DAMA Project [16] operam em ambientes subterrâneos extremamente controlados e utilizam materiais nobres como xenônio líquido para minimizar interferências de fundo.

Embora nenhuma interação com partículas de matéria escura tenha sido comprovada até o momento, os resultados desses experimentos vêm estabelecendo limites cada vez mais restritivos para as seções de choque esperadas, contribuindo para a avaliação crítica dos modelos de partículas.

4.3. Observações astronômicas e o telescópio espacial James Webb

Na fronteira observacional, o Telescópio Espacial James Webb (JWST), lançado em 2021, vem desempenhando papel relevante na reavaliação de modelos cosmológicos associados à matéria escura. Ao observar galáxias formadas nos primeiros 400 a 500 milhões de anos após o Big Bang, o telescópio identificou estruturas mais evoluídas do que o previsto pelos modelos tradicionais baseados em matéria escura fria (*cold dark matter* - CDM).

Estudos como o de Luiz Alberto Nicolaci da Costa [17], do Observatório Nacional, sugerem que esses resultados podem exigir revisões significativas nos pressupostos sobre a evolução estrutural do Universo, indicando que a matéria escura pode possuir características ou interações ainda não contempladas pelos modelos vigentes.

4.4. Raios cósmicos, neutrinos e astrofísica nuclear

Além das abordagens já mencionadas, é relevante destacar o papel de experimentos que utilizam técnicas provenientes da astrofísica nuclear, da física de raios cósmicos e da física de neutrinos para investigar indiretamente a matéria escura.

Experimentos como os do Observatório Pierre Auger [18], localizado na Argentina, estudam raios cósmicos de altíssima energia e suas interações atmosféricas, buscando possíveis assinaturas de partículas associadas à matéria escura. Já observatórios de neutrinos, como o IceCube[19], localizado no Polo Sul, investigam neutrinos de altíssima energia que poderiam ter origem em aniquilações ou decaimentos de partículas de matéria escura.

Adicionalmente, observatórios como o LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics), instalado sob o maciço do GranSasso, na Itália, contribuem com a análise de reações nucleares de interesse cosmológico, ajudando a modelar a nucleossíntese primordial e, indiretamente, os cenários de formação das primeiras estruturas cósmicas -, contexto no qual a presença de matéria escura é fundamental.

4.5. Simulações cosmológicas e modelos computacionais

Por fim, uma das frentes mais promissoras está no uso de simulações computacionais em larga escala, como as desenvolvidas nos projetos Millennium, Illustris e Dark Energy Survey (DES). Essas simulações visam reproduzir a formação de galáxias e estruturas cósmicas a partir de diferentes hipóteses sobre o comportamento da matéria escura.

Tais modelos são testados contra observações empíricas (inclusive aquelas fornecidas pelo JWST, pelo telescópio Hubble e pela missão Euclid) e vêm contribuindo para consolidar o paradigma Λ CDM (Lambda Cold Dark Matter), embora com ressalvas importantes quanto à complexidade dos dados mais recentes.

5. O Brasil na pesquisa sobre matéria escura

Apesar dos desafios estruturais que marcam historicamente o desenvolvimento científico no Brasil, o país tem desempenhado um papel significativo nas pesquisas voltadas à matéria escura, tanto por meio da participação de seus pesquisadores em grandes colaborações internacionais quanto pela consolidação de grupos de pesquisa nas universidades públicas e centros nacionais. Essa presença expressiva, embora por vezes invisibilizada no discurso midiático, revela a solidez da formação científica nacional e a capacidade de contribuição da ciência brasileira em temas de fronteira do conhecimento.

No âmbito das colaborações internacionais, destacam-se as contribuições de pesquisadores brasileiros nos principais experimentos relacionados à matéria escura em funcionamento no mundo. Entre eles, encontram-se os experimentos ATLAS e CMS, instalados no Grande Colisor de Hádrons (LHC), do CERN, na

Suíça. Diversas instituições brasileiras participam dessas colaborações, como a Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Estadual Paulista (UNESP), a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Essas equipes atuam tanto na análise de dados quanto no desenvolvimento de tecnologias associadas aos detectores, evidenciando o alto grau de qualificação técnica e teórica da mão de obra brasileira envolvida.

Além da física de partículas, a matéria escura também é objeto de investigação em experimentos baseados na astrofísica de altas energias e na física de neutrinos, como é o caso do Observatório Pierre Auger [17]. Trata-se do maior experimento do mundo dedicado à detecção de raios cósmicos de altíssima energia, e conta com ampla participação de grupos brasileiros, entre os quais se destacam os da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), da Universidade Federal do ABC (UFABC) e da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Essas colaborações possibilitam, entre outras coisas, investigar possíveis correlações entre eventos cósmicos raros e partículas candidatas à matéria escura. Experimentos como o DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment), nos Estados Unidos, também contam com a participação de físicos brasileiros [20] e vêm sendo fundamentais na investigação das propriedades dos neutrinos - partículas cuja natureza ainda é parcialmente desconhecida e que são consideradas possíveis componentes da matéria escura

em alguns modelos teóricos.

No cenário nacional, diversos grupos de pesquisa dedicam-se a temas correlatos à matéria escura em instituições como o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), o Instituto de Física Teórica da UNESP, o Instituto de Física da USP, o Instituto de Física da UFRJ, o Instituto de Física da UFRGS e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre outras. Essas equipes investigam desde modelos teóricos para partículas de matéria escura (como áxions, WIMPs e neutrinos estéreis) até aspectos observacionais e computacionais da formação de estruturas cósmicas, consolidando o Brasil como um ator relevante na produção científica sobre o tema.

Para além da produção acadêmica, a presença brasileira nessas pesquisas de ponta revela o potencial transformador da ciência pública como promotora de desenvolvimento humano e social. Muitos dos pesquisadores hoje atuantes em grandes experimentos internacionais iniciaram sua trajetória em escolas públicas e universidades federais, o que evidencia o papel estratégico da educação pública na formação de quadros científicos altamente qualificados. Nesse contexto, é fundamental que professores da educação básica reco-

Para além da produção acadêmica, a presença brasileira nessas pesquisas de ponta revela o potencial transformador da ciência pública como promotora de desenvolvimento humano e social

neçam e valorizem essas trajetórias, pois a apresentação e o contato dos estudantes da Educação Básica com exemplos concretos de participação brasileira na ciência de fronteira podem desempenhar um papel importante na formação de novos talentos científicos, especialmente em um campo tão instigante quanto a cosmologia.

Como enfatizam Videira e Francisquini [21], a valorização da ciência brasileira também potencializa a educação, especialmente quando se articula com temas de alta complexidade e relevância, como a matéria escura e os mistérios do Universo. Desse modo, ao levar para a sala de aula discussões sobre a matéria escura e a participação do Brasil em sua investigação, os professores não apenas contribuem para o letramento científico de seus alunos, mas também fortalecem o vínculo entre ciência, identidade nacional e cidadania crítica.

6. Proposta didática para o ensino de matéria escura no Ensino Médio

Introduzir o conceito de matéria escura no Ensino Médio representa uma oportunidade estratégica para aproximar os estudantes da ciência contemporânea e estimular o pensamento científico em sua dimensão mais autêntica: a investigação de problemas ainda abertos. Embora o tema não esteja explicitamente presente entre os conteúdos tradicionais dos livros didáticos, ele dialoga diretamente com os princípios e objetivos da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que orienta o currículo da educação básica brasileira.

Uma das competências gerais da educação básica, de acordo com a BNCC [4, p. 9], é “exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências [...] para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas” (Competência Geral n. 2). A proposta de trabalhar matéria escura em sala de aula insere-se nesse contexto ao convidar os alunos a refletirem sobre um problema científico atual e ainda não resolvido - um campo fértil para o desenvolvimento da autonomia intelectual e do raciocínio investigativo.

No campo das ciências da natureza, a BNCC destaca a necessidade de promover a compreensão da ciência como empreendimento humano, em constante transformação e em diálogo com outras áreas do conhecimento e com as necessidades sociais. A competência específica nº 2 da área orienta que os estudantes sejam capazes de analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. [4,

p. 553]. O trabalho com matéria escura, nesse sentido, permite desenvolver uma compreensão mais ampla da natureza da ciência e da maneira como ela se articula com o avanço tecnológico e com grandes colaborações internacionais.

A proposta didática aqui apresentada parte do princípio da transposição didática [7], adaptando conteúdos da astrofísica moderna de modo a torná-los acessíveis ao nível de abstração dos estudantes da educação básica. O objetivo é permitir que, mesmo diante da complexidade conceitual envolvida, os alunos possam compreender os fundamentos da matéria escura, identificar as evidências empíricas que sustentam sua existência e refletir sobre o papel da ciência na produção de conhecimento sobre o Universo.

Entre os objetivos pedagógicos da proposta, destacam-se: compreender a diferença entre matéria escura e matéria bariônica; reconhecer os principais indícios observacionais da existência da matéria escura (curvas de rotação de galáxias, lentes gravitacionais, fundo cósmico de microondas); refletir sobre os limites atuais da ciência e o caráter inacabado do conhecimento científico, e relacionar o estudo da matéria escura com a atuação de cientistas e instituições em pesquisas de ponta.

Como estratégia metodológica, propõe-se a organização de uma sequência didática baseada na pedagogia investigativa, com foco na resolução de problemas e na integração entre conteúdos de física, matemática e tecnologia. O ponto de partida é o questionamento de como medir a massa do Sol, seguido de uma discussão orientada para que os alunos cheguem aos dados dos planetas do Sistema Solar e seus cálculos.

Em seguida, os alunos podem ser convidados a analisar representações gráficas de curvas de rotação de galáxias reais, comparando os dados com previsões baseadas na gravitação newtoniana. Essa atividade pode ser realizada com o auxílio de planilhas eletrônicas simples, calculadoras ou softwares livres como o GeoGebra. Para escolas com acesso a laboratórios de informática, também é possível utilizar simulações computacionais disponíveis em plataformas com o Vascak, com a simulação da terceira lei de Kepler [22].

Esta proposta, ao articular conteúdos de física moderna com metodologias ativas e recursos acessíveis, contribui não apenas para o desenvolvimento conceitual dos alunos, mas também para sua formação crítica e cidadã. Ao trazer a matéria escura para o centro do debate escolar, oferece-se ao estudante a oportunidade de perceber a ciência como um processo dinâmico, coletivo e profundamente humano - sempre em busca de compreender o que ainda está por ser revelado.

Ao trazer a matéria escura para o centro do debate escolar, oferece-se ao estudante a oportunidade de perceber a ciência como um processo dinâmico, coletivo e profundamente humano - sempre em busca de compreender o que ainda está por ser revelado

6.1. Proposta metodológica baseada na análise de galáxias e modelagem gravitacional

A sequência didática proposta articula, de forma exemplar, conteúdos de física clássica e moderna, integrando conhecimentos de mecânica orbital, gravitação universal e astrofísica com o objetivo de introduzir o conceito de matéria escura a partir de dados observacionais reais. Esta proposta está alinhada com uma abordagem investigativa e com os princípios da BNCC ao promover o protagonismo estudantil, o letramento científico e a compreensão da ciência como processo em constante revisão.

A estrutura da atividade parte de uma análise comparativa entre o movimento orbital de corpos no Sistema Solar e o comportamento dinâmico de estrelas em galáxias, especialmente em regiões periféricas. O Quadro 2 apresenta a cronologia das atividades e suas etapas.

A sequência está dividida em 4 tempos de aula, de 40 minutos até 50 minutos, sendo propostos dois encontros de duas aulas cada. Todas as etapas foram projetadas para serem realizadas em grupos. A quantidade de grupos depende do número de alunos na turma. É recomendável que cada grupo tenha de 3 a 5 integrantes.

Na primeira etapa, os estudantes são convidados a derivar a expressão da massa do Sol utilizando a segunda lei de Newton (1), levando em consideração que a aceleração é a centrípeta, e a gravitação universal, Eq. (2), aplicando esse modelo à órbita dos planetas do Sistema Solar. Cada grupo ficará com um dos planetas e irá calcular a massa do Sol com base na Eq. (3). Para isso, serão necessários os dados contidos na Tabela 1.

ΣF = m.a, (1)

F = GM.m / r^2, (2)

M = v^2r / G. (3)

Com base na Tabela 1 e na Eq. (3), os estudantes devem chegar aos resultados contidos na Tabela 2.

Para a realização de todas as etapas e para chegar aos resultados da Tabela 2, o valor da constante da gravitação universal (G) é de 6,6743 × 10⁻¹¹ m³/kg.s² [24].

Quadro 2: Atividades realizadas em cada aula.

Aula	Síntese da atividade
1	No primeiro momento, os estudantes vão derivar a massa do Sol usando os conceitos de mecânica e gravidade elaborados por Newton.
2	Dadas as informações sobre a galáxia UGC 11748, os alunos vão calcular a velocidade de determinadas estrelas em relação ao centro da galáxia.
3	Montar o gráfico velocidade orbital × distância até o núcleo atrator para o caso do Sistema Solar e para a galáxia UGC 11748.
4	Calcular a massa gravitacional usando as velocidades medidas e as velocidades calculadas e comparar.

Tabela 1: Raio médio da órbita e da velocidade orbital dos planetas do Sistema Solar.

Planeta	Raio médio da órbita (10 ⁶ km)	Velocidade orbital média (km/s)
Mercúrio	57,9	47,9
Vênus	108,2	35,0
Terra	149,6	29,8
Marte	227,9	24,1
Júpiter	778,6	13,1
Saturno	1.433,5	9,7
Urano	2.872,5	6,8
Netuno	4.495,1	5,4

Fonte: Adaptado da Ref. [23].

Tabela 2: Massa estimada do Sol.

Planeta	Massa estimada (10 ³⁰ kg)
Mercúrio	1,99
Vênus	1,99
Terra	1,99
Marte	1,98
Júpiter	2,00
Saturno	1,99
Urano	1,99
Netuno	2,00

Essa introdução tem por objetivo familiarizar os alunos com os fundamentos da dinâmica orbital e com a ideia de que a força gravitacional determina o movimento dos corpos celestes. Comece a atividade com o questionamento de como é possível saber a massa do Sol.

Em seguida, na atividade 2, os estudantes aplicam esse modelo para analisar a galáxia UGC 11748, utilizando dados reais de raio orbital e velocidade observadas no trabalho de McGaughe cols. [25]. Os dados obtidos estão na Tabela 3. A atividade propõe a comparação entre as velocidades observadas e as velocidades calculadas teoricamente, assumindo que toda a massa da galáxia é visível.

Usando a massa total visível da galáxia UGC 11748 como sendo 9,89 × 10⁴⁰ kg, segundo McGaugh e cols. [25], os estudantes poderão calcular a velocidade conforme os raios da Tabela 3. Vale ressaltar a importância de dar a devida atenção às unidades de medida para que toda a turma possua as mesmas unidades para realizar a comparação e a discussão dos valores. Para o

Tabela 3: Raio orbital e velocidade observada.

Raio (kpc)	Velocidade observada (km/s)	Incerteza (km/s)
0,16	33,2	20,9
0,33	68,3	12,8
0,49	104,9	9,8
0,65	134,1	8,3
0,82	152,9	7,9
0,98	167,9	7,6
1,15	178,6	7,4
1,31	185,7	7,3
1,64	197,6	7,2
1,97	209,1	7,1
2,29	216,5	7,1
2,62	221,4	7,1
3,27	229,4	7,1
3,93	234,3	7,1
4,58	237,5	7,1
5,24	239,8	7,1
5,89	241,6	7,1
6,55	243,1	7,1
7,21	244,3	7,1

Fonte: Adaptado da Ref. [25].

caso do kiloparsec (kpc), sua mudança para metros (m) é dada por: $1 \text{ kpc} \approx 3,086 \times 10^{19} \text{ m}$.

Com base nesses dados, as distâncias em quilômetros e as velocidades calculadas devem ser próximas às contidas na Tabela 4. A ideia é que o grupo de alunos consiga construir essa tabela para que seja possível debater os resultados com a turma e o professor e prosseguir com as próximas atividades.

A atividade 3 consiste na montagem dos gráficos de velocidade orbital por raio até o núcleo atrator. Primeiramente, a turma, em conjunto, montará o gráfico no quadro para os planetas do Sistema Solar. O profes-

Tabela 4: Raio orbital, velocidade observada e velocidade calculada.

Raio orbital (10^{15} km)	Velocidade observada (km/s)	Velocidade calculada (km/s)
4,94	33,2	1156,2
10,18	68,3	805,1
15,12	104,9	660,7
20,06	134,1	573,6
25,31	152,9	510,7
30,24	167,9	467,2
35,49	178,6	431,3
40,43	185,7	404,1
50,61	197,6	361,1
60,79	209,1	329,5
70,67	216,5	305,6
80,85	221,4	285,7
100,91	229,4	255,8
121,28	234,3	233,3
141,34	237,5	216,1
161,71	239,8	202,0
181,77	241,6	190,6
202,13	243,1	180,7
222,50	244,3	172,2

Fonte: Adaptado da Ref. [25].

sor colocará a Tabela 3 no quadro e, com o auxílio dela e dos estudantes, montará o gráfico velocidade orbital média (km/s) $\times$ raio médio da órbita (10^6 km). A Fig. 1 representa como deverá ficar o esboço feito em aula.

É importante o professor ressaltar a queda das velocidades conforme a distância aumenta, relacionando isso com a mecânica newtoniana e com as leis de Kepler.

Com a montagem do primeiro gráfico em turma finalizada, cada grupo deverá montar um gráfico da velocidade orbital (observada e calculada) $\times$ raio para os componentes da galáxia UGC 11748. Nessa etapa, os estudantes deverão usar a Tabela 4 para a construção do gráfico. Aqui é interessante o professor disponibilizar folhas A3 com os eixos impressos para o grupo ou uma cartolina para traçar à mão os elementos do gráfico. A Fig. 2 representa os dados contidos na Tabela 4.

Com a construção do gráfico para velocidades calculadas (em laranja), fica evidente a característica de diminuição da velocidade com o aumento do raio, o que está de acordo com as leis de Kepler. Porém, os pontos com velocidades observadas não estão de acordo com os pontos com velocidades calculadas. Ao contrário da tendência anterior, as velocidades observadas vão crescendo conforme se afastam do núcleo atrator e, depois, ficam constantes.

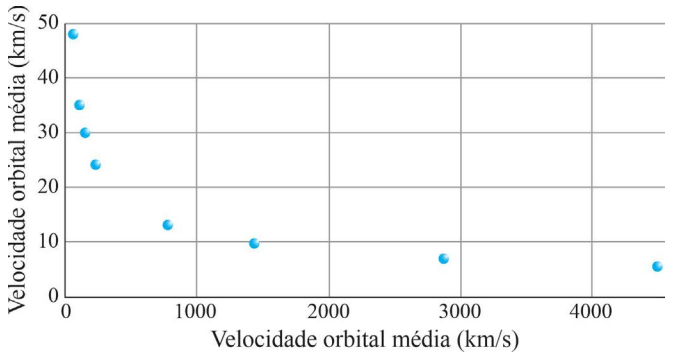


Figura 1 - Velocidade orbital média (km/s) $\times$ raio médio da órbita (10^6 km).

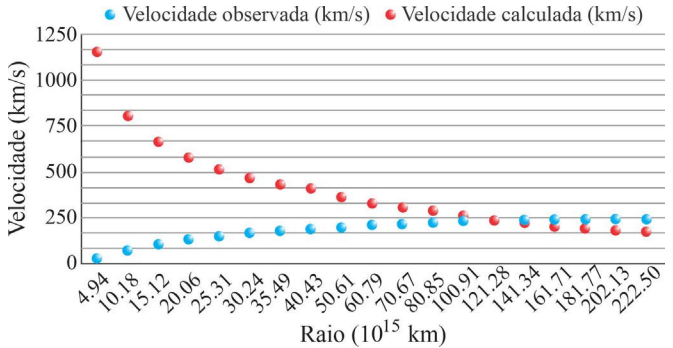


Figura 2 - Velocidade orbital (observada e calculada) $\times$ raio orbital.

Foque com os alunos a interpretação das leis de Kepler no gráfico. Questione os alunos sobre o que pode causar essa diferença de velocidade e levante hipóteses junto a eles.

Por fim, na atividade 4, apresente o vídeo *Como sabemos que matéria escura existe?*, do canal *Ciência Todo Dia*, no YouTube [26]. No vídeo, representado na Fig. 3, o apresentador levanta algumas maneiras como os cientistas detectam a matéria escura. Uma dessas maneiras é justamente a diferença de velocidades, calculadas e observadas, de estrelas em outras galáxias. A constância da velocidade indica uma massa não observada influenciando gravitacionalmente toda a galáxia.

Com base nessas explicações, nos debates e nos cálculos realizados, os estudantes vão calcular, com base na Eq. (3), a massa que estaria dentro do raio, com base na Tabela 4, e, posteriormente, comparar, percentualmente, a massa que está faltando em relação à massa visível da galáxia ($9,89 \times 10^{40}$ kg). Os resultados calculados estão contidos na Tabela 5.

Os valores negativos indicam raios que não contemplam toda a massa visível da galáxia UGC 11748. Já os valores positivos evidenciam uma massa que está faltando para uma determinada velocidade observada.

Ao final da aula, apresente os artigos de base com os dados da galáxia UGC 11748 (Fig. 4). Mostre para a turma como o gráfico, Fig. 2, da velocidade orbital pelo raio orbital, presente no artigo, se compara com os construídos em sala de aula.

Após a discussão do gráfico, fale sobre a diferença de matéria bariônica e não-bariônica, com base no que foi debatido até então, e apresente as principais instituições de pesquisa que trabalham com matéria escura, dando ênfase às que possuem brasileiros ativos, como a DUNE [20].

Além da dimensão quantitativa, a sequência inclui questões reflexivas e argumentativas. Os estudantes são estimulados a discutir a validade do modelo de gravitação aplicado às galáxias, a descrever o comportamento das curvas de rotação e a elaborar argumentos

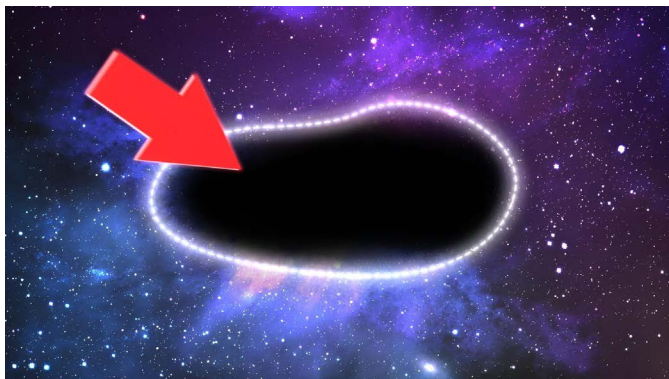


Figura 3 - Imagem do vídeo *Como sabemos que matéria escura existe?* do canal do YouTube *Ciência Todo Dia*. Fonte: *Ciência Todo Dia*, 2021 [26].

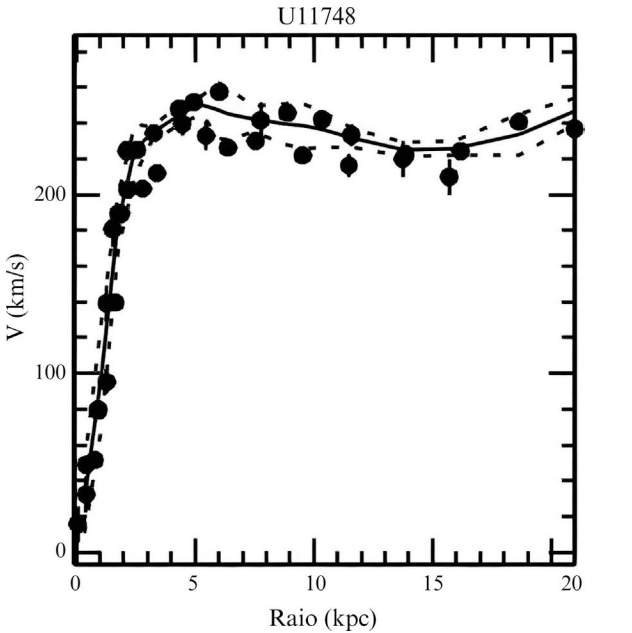


Figura 4 - Velocidade (km/s) × Raio (kpc). Fonte: Ref. [27].

em defesa da existência da matéria escura com base em evidências indiretas - abordando, assim, também a natureza epistemológica da ciência.

Portanto, a abordagem apresentada não apenas oferece uma forma acessível de trabalhar o conceito de matéria escura no Ensino Médio, mas também conecta teoria, prática, investigação e contexto. É uma metodologia que aproxima os estudantes da ciência atual sem abandonar a estrutura curricular da física escolar, contribuindo para a formação crítica e científica esperada no século XXI.

Tabela 5: Massa extra e percentual de massa faltando.

Raio ($\times 10^{15}$ km)	Massa extra ($\times 10^{40}$ kg)	Percentual de massa faltando (em relação à massa visível)
4,94	-9,88	-99,9%
10,18	-9,81	-99,3%
15,12	-9,64	-97,5%
20,06	-9,34	-94,5%
25,31	-9,00	-91,0%
30,24	-8,61	-87,1%
35,49	-8,19	-82,8%
40,43	-7,80	-78,9%
50,61	-6,92	-70,0%
60,79	-5,90	-59,7%
70,67	-4,92	-49,8%
80,85	-3,95	-39,9%
100,91	-1,93	-19,5%
121,28	0,09	0,9%
141,34	02,06	20,9%
161,71	04,05	41,0%
181,77	06,01	60,8%
202,13	08,02	81,1%
222,50	10,01	101,3%

Fonte: Adaptado da Ref. [25].

7. Conclusão

A inserção da matéria escura como tema no Ensino Médio representa uma possibilidade concreta de aproximar os estudantes da ciência contemporânea e de promover uma formação científica mais crítica, contextualizada e alinhada com os desafios do século XXI. Ao se propor que professores de física abordem esse conteúdo por meio de atividades investigativas, baseadas em dados reais e recursos acessíveis, contribui-se para superar o distanciamento histórico entre o conhecimento produzido nos centros de pesquisa e o conhecimento escolar.

Como discutido ao longo deste artigo, a matéria escura ocupa um lugar central nas discussões atuais da física e da cosmologia. Seu estudo, ainda em aberto, mobiliza tecnologias de ponta, colaborações científicas internacionais e reflexões epistemológicas profundas sobre os limites da observação e do conhecimento humano. Trazer esse debate para a sala de aula é, portanto, mais do que uma atualização curricular: é um convite à participação dos estudantes na construção do saber científico, reconhecendo que a ciência é, por natureza, um processo inacabado, coletivo e dialógico.

A proposta pedagógica aqui apresentada demonstra que é possível abordar a matéria escura de forma didática e significativa no Ensino Médio, mesmo em contextos com recursos limitados. As atividades basea-

das na análise de curvas de rotação galáctica, na comparação entre modelos gravitacionais e observações empíricas, bem como nas discussões argumentativas sobre a natureza da evidência científica, permitem integrar habilidades previstas na BNCC com o desenvolvimento da curiosidade, da autonomia intelectual e da valorização da ciência como ferramenta de leitura e transformação do mundo.

Ademais, ao evidenciar a presença de pesquisadores e instituições brasileiras em grandes experimentos sobre matéria escura, reafirma-se o papel estratégico da ciência nacional e da educação pública na formação de sujeitos críticos e criativos. Valorizar a ciência feita no Brasil é também valorizar os caminhos possíveis para os estudantes das escolas públicas, fortalecendo a noção de pertencimento e o protagonismo na produção do conhecimento.

Assim, ao aproximar a escola da fronteira do conhecimento científico, este artigo busca contribuir para uma educação em ciências que não apenas informe, mas que também forme sujeitos capazes de questionar, investigar, argumentar e imaginar futuros possíveis - iluminando, com conhecimento, até mesmo aquilo que a física ainda não pode ver.

Recebido em: 2 de Junho de 2025

Aceito em: 6 de Outubro de 2025

Referências

- [1] Planck Collaboration e cols. *Astron. Astrophys.* **641**, A6 (2020). [doi](#)
- [2] E.C. Ricardo, in *Ensino de Física*, editado por A.M.P. de Carvalho (Cengage Learning, São Paulo, 2010), p. 29-51.
- [3] L.C. de Menezes, in *Física Ainda é Cultura?*, editado por A.F.P. Martins (Livraria da Física, São Paulo, 2009), p. 29.
- [4] Brasil, Ministério da Educação, *Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base* (MEC, Brasília, 2018).
- [5] D. Clowe, M. Bradač, A.H. Gonzalez, M. Markevitch, S.W. Randall e cols., *Astrophys. J. Lett.* **648**, L109 (2006). [doi](#)
- [6] G. Hinshaw, D. Larson, E. Komatsu, D. N. Spergel, C. L. Bennett e cols., *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **208**, 19 (2013). [doi](#)
- [7] Y. Chevallard, *La Transposition Didactique: Du Savoir Savant au Savoir Enseigné* (La Pensée Sauvage, Grenoble, 1991).
- [8] J.P. Astolfi, *Ensenanza de Las Ciencias* **16**, 375 (1998).
- [9] F. Zwicky, *Helv. Phys. Acta* **6**, 110 (1933).
- [10] V.C. Rubin, W.K. Ford Jr., N. Thonnard, *Astrophys. J.* **238**, 471 (1980). [doi](#)
- [11] C. Tao, *J. Instrum.* **15**, C06054 (2020). [doi](#)
- [12] T.S. Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Perspectiva, São Paulo, 1970).
- [13] CERN, *The Search for Dark Matter* (CERN, Genebra.). Disponível em <https://www.home.cern/science/physics/dark-matter>.
- [14] XENON Collaboration, *XENON Dark Matter Project* (XENON Collaboration, Gran Sasso). Disponível em <https://www.xenonexperiment.org/>.
- [15] LZ Collaboration, *The LUX-ZEPLIN Dark Matter Experiment* (LZ Collaboration, Lead). Disponível em <https://lz.lbl.gov/>.
- [16] DAMA Project, *The DAMA Project* (DAMA Project, Gran Sasso, 2011). Disponível em <http://people.roma2.infn.it/dama/web/setup.html>.
- [17] L.F. Grove, L.A.N. da Costa, C. Benoist, *Astronomy & Astrophysics* **490**, 945 (2008). [doi](#)
- [18] Pierre Auger Collaboration, *Pierre Auger Observatory* (Pierre Auger Collaboration, Malargüe). Disponível em <https://www.auger.org/>.
- [19] IceCube Neutrino Observatory, *IceCube South Pole Neutrino Observatory* (IceCube Neutrino Observatory, Madison). Disponível em <https://icecube.wisc.edu/>.
- [20] DUNE Brasil, *A Participação Brasileira no DUNE* (DUNE Brasil, Brasil). Disponível em <https://dune.org.br/>.
- [21] A.A.P. Videira, M.F.B. Francisquini, *Cad. Bras. Ens. Fís.* **35**, 81 (2018). [doi](#)
- [22] V. Černík, *Planetas Exteriores: Animação* (s.n., s.l., 2025). Disponível em <http://www.exopla.net/>, acesso em 2/10/2025.
- [23] National Aeronautics and Space Administration (NASA), *Planet Compare* (NASA, Washington, D.C.). Disponível em <https://solarsystem.nasa.gov/planet-compare/>.
- [24] B.N. Taylor, D.B. Newell, P.J. Mohr, *CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2018* (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2019).
- [25] S.S. McGaugh, V.C. Rubin, W.J.G. de Blok, *Astron. J.* **122**, 2381 (2001). [doi](#)
- [26] Ciência Todo Dia, *Como Sabemos que Matéria Escura Existe?* (YouTube, 2020). Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=N4k3Ky-S3w>.
- [27] W.J.G. de Blok, S.S. McGaugh, V.C. Rubin, *Astron. J.* **122**, 2396 (2001). [doi](#)