



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS CORRENTE
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA

LAILA DE SOUZA DINIZ

**ANÁLISE CRÍTICA DA ABORDAGEM SOBRE BURACOS NEGROS NOS MEIOS DE
DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

CORRENTE – PI
2023

LAILA DE SOUZA DINIZ

ANÁLISE CRÍTICA DA ABORDAGEM SOBRE BURACOS NEGROS NOS MEIOS DE
DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Piauí, Campus Corrente.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Plácido Cavalcante Melo de Lima.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Diniz, Laila de Souza

D585a Análise crítica da abordagem sobre buracos negros nos meios de
divulgação científica / Laila de Souza Diniz. - 2023.
28 p.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Corrente, 2023.
Orientador : Prof Dr. Augusto Plácido Cavalcante Melo de Lima..

1. Física - estudo e ensino. 2. Buracos Negros. 3. Física moderna. 4.
Divulgação científica. I.Título.

CDD - 530

Elaborado por Tefischer Huanderson Soares e Sousa CRB 3/1251

ANÁLISE CRÍTICA DA ABORDAGEM SOBRE BURACOS NEGROS NOS MEIOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

Laila de Souza Diniz¹

Augusto Plácido Cavalcante Melo de Lima²

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo a respeito dos buracos negros, fenômenos cósmicos fascinantes e enigmáticos que desafiam nossa compreensão atual do universo. Eles desempenham um papel fundamental na cosmologia e astrofísica, e seu estudo tem implicações significativas para nossa compreensão da Física fundamental. O objetivo deste trabalho fundamenta-se em discutir estratégias e metodologias que façam presente o interesse aos estudos aprofundados da Física, através das análises feitas nos diferentes meios de divulgação, de forma que com as informações obtidas a respeito desse fenômenocosmológico, possam enunciar o interesse no entendimento do universo e na revolução da ciência. Justificando-se a importância da comunicação científica ao promover o acesso ao conhecimento de forma acessível ao público em geral. A metodologia utilizada neste estudo envolveu uma análise crítica dos diferentes meios de divulgação científica que abordam essa temática. Foram discutidos os aspectos teóricos, as estratégias de divulgação, a linguagem utilizada e o público-alvo de cada meio. Com base nessa análise, conclui-se que os livros, artigos e o canal de plataforma digital analisados apresentam uma eficiente operacionalização do conteúdo, sendo possível verificar uma abordagem complexa e contextualizada do assunto. Além disso, fornecem uma linguagem clara e concisa, reforçando a precisão e a base científica das informações apresentadas.

Palavras – chave: buracos negros; divulgação científica; física moderna.

ABSTRACT

This work presents a study about black holes, fascinating and enigmatic cosmic phenomena that challenge our current understanding of the universe. They play a key role in cosmology and astrophysics, and their study has significant philosophy for our understanding of fundamental physics. The objective of this work is fundamental in discussing strategies and methodologies that make present the interest to the in-depth studies of Physics, through the analysis carried out in the different means of dissemination, so that with the information about this atypical phenomenon, they can express the interest in the understanding of the universe and in the revolution of science. Justifying the importance of scientific communication in promoting access to knowledge in an accessible way to the general public. The methodology used in this study involved a critical analysis of the different means of scientific dissemination that address this issue. Theoretical aspects, dissemination strategies, the language used and the target audience of each medium were discussed. Based on this analysis, it is concluded that the analyzed books, articles and digital platform channel present an efficient operationalization of the content, being possible to verify a complex and contextualized approach to the subject. In addition, it provides clear and concise language, reinforcing the accuracy and scientific basis of the improved information.

Keywords: black holes; science communication; modern physics.

Data de aprovação: 28/06/2023.

¹ Acadêmica do curso de Licenciatura em Física, do Instituto Federal do Piauí - Campus Corrente.

² Doutor em Física pela Universidade Federal do Ceará, Professor efetivo do IFPI.

1. INTRODUÇÃO

Os buracos negros são deformações extremas provocadas no espaço tempo, de tal forma a causar o aparecimento do que conhecemos como horizonte de eventos, onde delimita-se uma região em que nada consegue escapar (ROCHA, 2020).

Essas características desafiam nossa compreensão atual do universo e impulsionam a busca por uma teoria unificada que possa explicar a Física nesses regimes extremos, fazendo com que essas entidades cosmológicas sejam de grande relevância astrofísica. O estudo acerca desse tema permeia a Física das altas energias, correspondendo a um tema bastante atrativo aos pesquisadores dentro da área da relatividade geral.

Assim sendo, os buracos negros desempenham um papel relevante nos desenvolvimentos teóricos em múltiplas linhas da Física Contemporânea, congregando ramos aparentemente desconexos do horizonte da Física. Desse modo, fazem-se presentes as proposições teóricas do físico Albert Einstein no entendimento dos processos que se dão a esses objetos celestes tão pouco comuns.

Apesar do grande interesse existente, por muito tempo, a ciência permaneceu inacessível para pessoas fora da esfera acadêmica. As lacunas causadas no conhecimento promoveram uma espécie de mal-estar social, uma vez que o público em geral tendia a ficar cada vez mais excluídos do seu processo de formação, mantendo noções equivocadas sobre temas científicos, noções essas que provêm de uma série de informações baseadas no achismo e no senso comum, sem qualquer embasamento científico (NÚCLEO DO CONHECIMENTO, 2019).

Nessa perspectiva, o presente trabalho justifica-se em função da importância da comunicação científica em promover o acesso ao saber, de modo que chegue de maneira acessível ao público o contato com informações seguras e de qualidade, que partem de bases sólidas e que permitem que determinados indivíduos construam um conhecimento crítico.

Em vista disso, a ciência busca explicar fenômenos naturais e sociais por meio de leis e teorias que possam ser verificadas e validadas por meio de evidências concretas. "O principal objetivo do ser humano é conhecer a verdade e a realidade. Para isso, utiliza-se vários mecanismos, entre eles, a perspectiva científica como uma das opções para adquirir conhecimento sobre certa realidade" (MARTINS, 1994).

Atentando ao referido exposto, qual seria a importância de estudar buracos negros? Uma das respostas para essa pergunta está na necessidade da conexão do público para com a ciência, onde o volume de informações produzidas pela sociedade exige que o conhecimento seja compartilhado, tendo a divulgação Científica como intermediária dessa transposição. Outro fator importante nesse processo, está justamente na capacidade dessas descobertas não ocorrerem a partir de respostas, mas sim do questionamento, desenvolvendo o interesse em se buscar.

Desse modo, o objetivo deste trabalho fundamenta-se em discutir estratégias e metodologias que façam presente o interesse aos estudos aprofundados da Física para o público geral, de forma que com as informações obtidas a respeito desse fenômeno atípico, que é a existência dos buracos negros, possam enunciar o interesse no entendimento do universo e na revolução da ciência. E por meio disso, popularizá-la trazendo métodos de ampliação do conhecimento e reconhecimento da ciência e do quanto ela está presente em todo o entorno, através da sua divulgação científica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Buracos negros sobre uma ótica newtoniana

Ao falar sobre buracos negros, deve buscar-se num primeiro instante conhecer como se deu o processo de elaboração da Teoria da Relatividade proposta pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955), a qual revolucionou a compreensão da ciência sobre o universo e tornou inadiável a adoção de novas maneiras de interpretá-la, em vista do seu confronto a teoria newtoniana, considerada como pilar fundamental na descrição da natureza até então.

Até o início do século XX, acreditava-se que a Física era regida fundamentalmente pelas leis de Isaac Newton (1643-1747). O físico e matemático (dentre outras ocupações) postulou que a gravidade era uma força universal causada pela massa dos corpos celestes, informando que estes se atraem mutuamente em proporcionalidade ao produto de suas massas (COSTA, Camila; PAIS, Ana, 2019).

Em virtude disso, quanto mais massa determinado corpo possuía, mais intensamente seria a sua potencialidade de atração. Por conseguinte, os planetas giravam em torno do sol, em consequência de sua grande massividade.

Na mecânica newtoniana, os conceitos de espaço e o tempo eram considerados independentes e absolutos. Conforme Newton, medidas de distância e tempo decorrido seriam invariantes, mesmo que efetuadas em referenciais diferentes.

Ainda sob a descrição newtoniana, convém mencionar que em 1783, o geólogo inglês John Mitchell, escreveu um artigo onde postulava a primeira previsão da existência de uma estrela, cuja densidade era tão alta, que seu campo gravitacional tornava-se tão intenso, que nem mesmo a luz conseguia escapar (RT82, 2021).

Sua descoberta provocou entusiasmo aos pesquisadores da época, com a possibilidade de haver uma estrela que vinha a esconder em sua escuridão os maiores segredos do espaço e do tempo. Ele alegou que ao atirmos uma partícula verticalmente para cima, sua subida será retardada pela gravidade e automaticamente cairá, todavia, se a velocidade inicial for maior que um valor crítico, designada velocidade de escape, a gravidade não terá força suficiente para impedir a partícula e ela escapará (LOOS, 2020).

A velocidade de escape é obtida a partir da condição de que no infinito a energia mecânica do corpo lançado é nula. Assim,

$$\frac{m \cdot v_e^2}{2} - G \frac{m \cdot M}{R} = 0 \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}. \quad (1)$$

Tomando a velocidade de escape como $v_e = c$ (velocidade da luz no vácuo) e isolando R , podemos encontrar o valor do raio do buraco negro, dado por:

$$R = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}. \quad (2)$$

É importante salientar que a tese de Mitchell baseava-se na Física newtoniana, onde o entendimento sobre a gravidade era outro, haja vista que na época Einstein nem havia nascido, bem como as equações de Maxwell do eletromagnetismo que descrevem a propagação da luz ainda não haviam sido publicadas, dessa forma, não havia um consenso de que a luz seria uma partícula ou uma onda, e nem de como ela iria interagir ou não com a gravidade. E essa foi a primeira ideia de buracos negros, apelidada na época de estrelas escuras (CIÊNCIA TODO DIA, 2020).

2.1.1 Teoria da relatividade

James Clerk Maxwell realizou contribuições significativas para o campo do eletromagnetismo, unificando as equações do campo elétrico e magnético em um conjunto conhecido como Equações de Maxwell. Essas equações trouxeram uma conclusão notável: a previsão de que as ondas eletromagnéticas, como a luz visível, poderiam se propagar no vácuo, sem a necessidade de um meio material para transportá-las.

No entanto, diante dessa descoberta, surgiram questionamentos sobre a necessidade de um meio material para a propagação dessas ondas, assim como ocorre com as ondas mecânicas. Nessa perspectiva, os cientistas da época argumentam que a luz viajava pelo espaço preenchido por uma substância denominada éter, um meio elástico hipotético que permeia todo o universo e servia como um sistema de referência (SILAS, 2020).

Pensando nisso, na tentativa de medi-la diferente daquelas previstas pelas equações de Maxwell, diversos experimentos foram elaborados. Contudo, foi o experimento de Michelson e Morley, realizado em 1881, que consistiu grande destaque na época para a verificação das variações na velocidade de propagação da luz utilizando um anteparo que ficou conhecido como interferômetro de Michelson-Morley.

Entretanto, os resultados obtidos nesse experimento descartaram a existência de variações na velocidade da luz, uma vez que o valor do desvio obtido foi igual a zero. A falta de um padrão de interferência destrutiva entre as ondas de luz observadas foi um indicativo de que não havia variações na velocidade de propagação. Assim, as esperanças de encontrar discrepâncias em relação às equações de Maxwell foram frustradas (SILAS, 2020).

Posteriormente, essas conclusões foram experimentalmente confirmadas por Heinrich Hertz, que demonstrou que a luz é uma onda resultante da variação de um campo elétrico e um campo magnético, conforme descrito por James Maxwell em suas equações. Essa confirmação experimental reforçou a consistência das equações de Maxwell e sua capacidade de descrever adequadamente a natureza ondulatória da luz.

Dado o exposto, e avançando um pouco no tempo, apenas vinte e quatro anos para 1905. Foi nesse período que Einstein publicou um artigo que revolucionou os conceitos da Física. Historicamente, a primeira teoria trata-se da relatividade restrita ou especial, publicadano ano de 1905, no artigo, a eletrodinâmica dos corpos em movimento, a fim de modificar as concepções de espaço e tempo. A base dessa teoria é sustentada por dois postulados:

1. As leis da Física são as mesmas em qualquer referenciais inerciais.
2. A velocidade de propagação da luz no vácuo é uma constante universal, tem o mesmo valor em todos os sistemas de referências inerciais” (SM Educação, 1º ed, 2020, p.37).”

Corroborando com isso, dois fenômenos que acontecem simultaneamente para um observador, podem ocorrer em momentos distintos para outro. Isto é, a simultaneidade, algo absoluto na teoria clássica, é um conceito relativo na teoria da relatividade, abordando fenômenos que ocorrem em deslocamentos que possuem velocidades próximas ou iguais a da luz.

Em consequência dessas descobertas, o entendimento da luz passou a diferir das ideias clássicas do espaço e do tempo, contrariando a teoria de Newton de que ambos fossem absolutos. A existência de um dilema residia no fato de que a teoria da relatividade restrita, por si só, era aplicável somente a referenciais inerciais, o que levou Einstein a conceber a ideia da busca por um conceito mais abrangente, capaz de englobar também os observadores sujeitos a acelerações. Dessa forma, desenvolveu-se um novo entendimento a respeito da gravitação universal, aprimorando ainda mais a então desenvolvida por Newton, explicando assim fenômenos como a existência de buracos negros e ondas gravitacionais.

Sob essa conjuntura, através de cálculos, Einstein constatou que a radiação eletromagnética, a luz, é a coisa mais rápida do universo, tendo qualquer outro meio incapaz de alcançar uma velocidade superior à da mesma. Além disso, outros problemas começaram a ficar cada vez mais aparentes. Para Isaac Newton, a única coisa que influencia na gravidade era a massa dos corpos, porém, a um tempo depois com o surgimento da relatividade, concluiu-se que a luz é afetada pela gravidade devido a sua geometria, haja vista que seus raios seriam desviados ao passar próximo a corpos massivos, entretanto, a luz não possuía massa. Problemas como esse elucidaram um choque à crença de outros cientistas de que os raios de luz se movem sempre em linha reta através do espaço, desde sua fonte até o observador. Isso evidenciou a Einstein, seu questionamento acerca da gravidade consolidada por Newton (MACDONALD, Fiona, 1993).

Levando em consideração os fatos já apresentados anteriormente, evidências apontam para a necessidade de um novo entendimento acerca da gravitação. A partir disso é chegado o momento de trabalhar a teoria da Relatividade Geral, onde Einstein introduz uma concepção de um universo físico que difere da concepção clássica. Ele imaginou as três dimensões do espaço e a dimensão do tempo juntas, formando uma espécie de tecido que nos rodeia que é deformado pela presença dos corpos, denominada espaço- tempo.

Quando aplicado esse pensamento a estrelas, planetas e galáxias é notório compreender que a deformidade causada pelos corpos, gera uma curvatura no espaço. Assim sendo, a gravidade é gerada por matéria e energia, onde o sol, por exemplo como uma estrela de considerável massa, faz com que os outros corpos celestes sigam essa mesma curvatura que ela gera no tecido do espaço-tempo. Em circunstância desse efeito, a Terra e os demais planetas movem-se em uma órbita ao redor dessa estrela (CASTANHARI, Fernando, 2017).

2.2 Relatividade Geral e Buracos Negros³

2.2.1 Equação de Campo de Einstein

As equações de campo de Einstein descrevem basicamente a relação entre a curvatura do espaço-tempo e a massa/energia, geradoras do campo gravitacional, a equação matemática é dada pela seguinte expressão:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} \quad (3)$$

O uso do plural “equações” indica que a expressão anterior não constitui uma, mas um conjunto de várias expressões individuais, embutidas na forma de uma equação tensorial.

Nelas temos os tensores de segunda ordem $R_{\mu\nu}$ (tensor de Ricci, ligado a curvatura espaço temporal e construído a partir de $g_{\mu\nu}$), $G_{\mu\nu}$ (tensor de Einstein, definido matematicamente para ter propriedades similares à $T_{\mu\nu}$), $g_{\mu\nu}$ (o tensor métrico, que expressa as características do espaço-tempo) e $T_{\mu\nu}$ (o tensor de momentum-energia dos campos de matéria/radiação). Já a grandeza R é o escalar de curvatura do espaço-tempo, construída a

³ A abordagem que daremos nessa seção será menos formal, cujo escopo matemático foge ao objetivo deste artigo, e focaremos assim numa descrição mais qualitativa. As equações fornecidas nesta subseção são de uso comum dentro do aparato teórico da relatividade, um leitor que deseje consultar fontes mais detalhadas pode referir-se a Carroll (2004) e Padmanabhan (2010).

partir do tensor de Ricci. Observe que como $R_{\mu\nu}$ e R dependem intrinsecamente de $g_{\mu\nu}$, a equação se reduz a uma descrição da métrica a partir do momento-energia.

2.2.2 Índices tensoriais

A equação de campo de Einstein é extremamente complexa e acoplada, o que significa que os diferentes componentes das grandezas envolvidas estão inter-relacionados. Resolver essa equação para encontrar a geometria do espaço-tempo em uma determinada distribuição de matéria e energia é um desafio matemático significativo. Devido à complexidade da equação, Einstein acreditava inicialmente que não teria uma solução analítica. No entanto, posteriormente, soluções foram encontradas, como a solução para um espaço-tempo esféricamente simétrico e estático, conhecida como solução de Schwarzschild, que descreve o campo gravitacional gerado por um objeto massivo esférico.

Os tensores de curvatura e de energia-momento são grandezas que obedecem a regras de transformação específicas para garantir a invariância das equações sob mudanças de coordenadas gerais (em outras palavras, as leis gerais da Física independe do observador e do sistema de coordenadas empregado). Os índices nos tensores representam as coordenadas do espaço-tempo, e cada par de índices especifica um componente desses tensores. A combinação de dois índices tensoriais em um espaço de quatro valores possíveis (uma coordenada temporal e três espaciais) resultará em 16 combinações. Desse modo, a equação de campo de Einstein é uma equação fundamental na teoria da relatividade geral e descreve a relação entre a geometria do espaço-tempo e a distribuição de matéria e energia.

2.2.3 Tensor métrico do espaço-tempo

Na ausência de gravidade, o espaço é dito plano, sendo descrito pela métrica de Minkowski (SOARES, Domingos, 2013). Ela é uma generalização da métrica euclidiana tridimensional para o espaço-tempo quadridimensional. A métrica de Minkowski é dada pela expressão:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 \quad (4)$$

Onde ds^2 é o intervalo espaço-tempo entre dois eventos, c é a velocidade da luz, t é o componente temporal, e dx , dy , dz são os componentes espaciais. Esse tensor métrico descreve o espaço-tempo na ausência de efeitos gravitacionais, ou seja, aquele abordado na relatividade restrita.

A escolha de sinais na equação 4 pode ser convencionada de duas maneiras diferentes, com sinal negativo ou positivo na componente temporal, aplicando o oposto para a parte espacial. Essa convenção é denominada assinatura da métrica e sua definição é importante quando se estudam casos de espaço-tempo mais gerais, já que o sinal de ds^2 irá definir por exemplo, se o intervalo é causal ou não. Neste trabalho adotaremos a assinatura $(-1, +1, +1, +1)$, associada aos sinais em (4), que define intervalos com $ds^2 < 0$ para trajetórias que obedeçam ao princípio da causalidade (ou seja, com velocidades menores que a da luz), sendo o intervalo associado a trajetória de um partícula, igual ao seu tempo próprio multiplicado por um fator de -1 . Se escolhêssemos o caso contrário, onde o intervalo é igual ao tempo próprio, iríamos adotar a assinatura $(+1, -1, -1, -1)$.

Nessa teoria, o espaço e o tempo estão intrinsecamente ligados e formam uma entidade única. Antes da relatividade de Einstein, tais grandezas eram consideradas separadamente, com o espaço sendo descrito por três dimensões espaciais e o tempo sendo tratado como um parâmetro independente. No entanto, a teoria de Einstein propõe que essas entidades estão entrelaçadas, e eventos que ocorrem em diferentes pontos do espaço e em momentos diferentes estão todos interligados pelo espaço-tempo.

2.3 Curvatura e Gravidade

O princípio da Equivalência é um dos fundamentos da Relatividade Geral de Einstein. Ele afirma que não há distinção entre a massa inercial, presente por exemplo na segunda Lei de Newton, e massa gravitacional, proporcional ao peso de um objeto, o que garante que corpos de diferentes massas tenham todos a mesma aceleração quando sob regime quedalivre. Um exemplo famoso é o experimento de Galileu na Torre de Pisa, no qual objetos abandonados da torre apresentavam os mesmos parâmetros de movimento, desconsiderando a resistência do ar. Tal princípio fomenta a hipótese de que a gravidade poderia ser fundamentalmente não uma força, mas um efeito geométrico que atua igualmente sobre todos os corpos.

Outro exemplo clássico utilizado para ilustrar esse princípio é o chamado "elevador de Einstein". Ele consiste em um observador dentro de um elevador no espaço, onde não há influência de campos gravitacionais externos. Se o elevador estiver em repouso ou em movimento uniforme, ele não sentirá nenhuma força agindo sobre ele e poderá flutuar livremente dentro do elevador. No entanto, se o elevador for acelerado para cima, o observador sentirá uma força empurrando-o para baixo, similar à sensação da gravidade na superfície da Terra.

Na mecânica de Newton, a força gravitacional entre dois corpos é descrita pela equação:

$$F = -\frac{GMm}{r^2} \hat{r}. \quad (5)$$

No entanto, essa equação não é matematicamente compatível com a Teoria da Relatividade. Einstein e Hilbert desenvolveram um modelo clássico para a gravitação no qual os corpos massivos não interagem por meio de uma força, mas sim alteram as propriedades geométricas do espaço-tempo, afetando assim o movimento dos corpos, como ilustrado na figura 1.

Uma forma comum de explicar o efeito gravitacional é por meio de uma analogia com esferas sobre um tecido. Ao colocar uma esfera pesada sobre uma película elástica ou tecido horizontal, ela deforma as partes adjacentes. Se uma segunda esfera mais leve for colocada próxima a ela, ocorre um efeito de "atração", em que o segundo corpo rola em direção ao corpo mais pesado devido à deformação causada no "tecido do espaço-tempo".

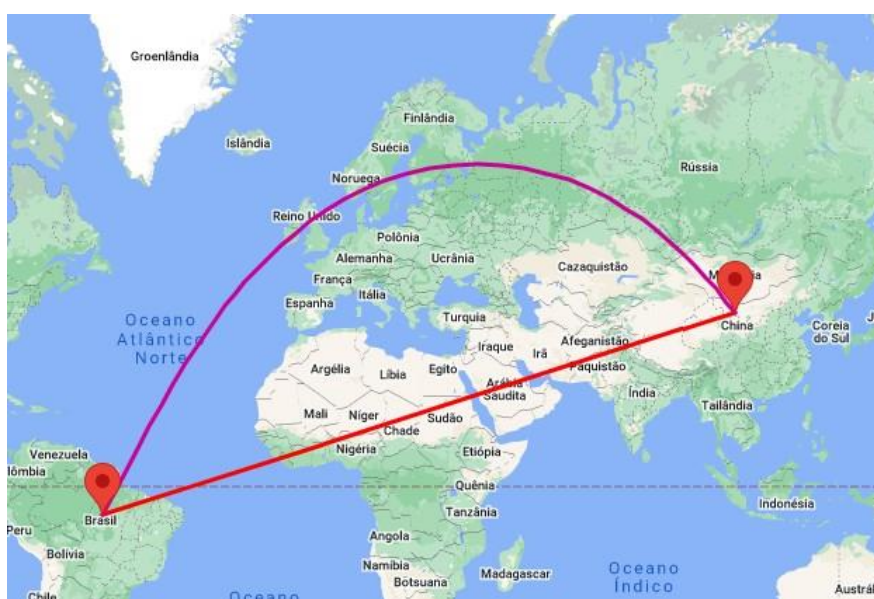
Figura 1- Descrição intuitiva básica da gravitação de Einstein



Fonte: Schierber, M. What is Relativity. Ilustração. 2 de julho de 2019. Disponível em: <https://www.livescience.com/32216-what-is-relativity.html>. Acesso em 15 de junho de 2023. Legenda: A enorme massa do planeta Terra causa uma distorção no espaço-tempo, curvando-o de modo a simular a força de atração gravitacional para com o satélite.

Essa é uma representação visual simples e eficiente para ilustrar a ideia de que objetos massivos curvam o espaço tempo em sua volta, causando a atração gravitacional, sendo suficiente para o entendimento de pessoas fora da área. De maneira mais técnica, para entender o movimento gravitacional é necessário compreender o conceito de geodésica. Uma geodésica é basicamente a curva que determina a menor distância entre dois pontos, no espaço tridimensional euclidiano esta curva é sempre uma reta. Uma forma educativa de vermos o desvio geodésico em uma superfície curva é observando as menores distâncias entre dois pontos na superfície da Terra (figura 2). Tais curvas muitas vezes se refletem em rotas de voo, por exemplo, onde se procura a curva de menor distância de modo a encurtar tempos de viagem e diminuir gastos com combustíveis.

Figura 2 - Caminho geodésico na superfície terrestre.



Fonte: Academo. Geodesics on the Earth. Mapa interativo. Disponível em: <https://academo.org/demos/geodesics/>. Acesso em 15 de junho de 2023. Legenda: Contraste entre o caminho reto em vermelho, mais longo, e o caminho geodésico, de menor distância, em roxo.

Observe na figura acima que a “linha reta” em vermelho ligando Brasil e China não corresponde à menor distância. Em superfícies curvas, como a superfície terrestre, ou o espaço-tempo distorcido pela gravidade, encontrar uma geodésica não é tão trivial quanto definir uma linha reta, é necessário usar elementos da geometria diferencial não-euclidiana para definir as rotas de menor distância entre dois pontos. No contexto da relatividade onde espaço e tempo se misturam, uma geodésica não representa apenas uma trajetória, mas também sua evolução temporal. Assim, aquilo que na gravidade newtoniana é descrito como um movimento decorrente da força gravitacional, na Relatividade Geral é descrito pelo movimento geodésico dos corpos, gerado pela curvatura espaço-temporal resultante das grandes acumulações de massa como planetas e estrelas.

2.4 Solução de Schwarzschild

É indubitável salientar a importante contribuição de Einstein para o entendimento do universo. Dado os seus fundamentos a respeito da sua teoria da Relatividade Geral, ele, através de sua equação de campo, descreveu como a massa e momento causam uma curvatura no espaço-tempo, criando assim a aparente força de gravidade. Apesar da incredulidade do próprio Einstein na possibilidade de solução analítica explícita, meses depois, em 1916, ela foi solucionada pela primeira vez pelo astrônomo Karl Schwarzschild (1873-1916), sendo a solução exata para o campo gravitacional de uma estrela estática e esfericamente simétrica (OLIVEIRA, 2014).

Para alcançar tal feito, Schwarzschild considerou aproximações e simetrias. Sua estratégia foi, especificamente, considerar um modelo de espaço-tempo esfericamente simétrico e estático como explicitado no parágrafo anterior. No mundo real, as distribuições de massa/energia que geram o campo gravitacional, como os planetas e estrelas, não são perfeitamente esféricos e nem estáticos, no entanto como aproximação válida, a solução de Schwarzschild é capaz de descrever diversos efeitos relevantes incluindo os buracos negros. Com um longo trabalho algébrico, ele chegou a seguinte solução para a métrica espaço-temporal,

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{c^2 R}\right)^{-1} c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 R}\right) dR^2 + R^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\Phi^2). \quad (6)$$

A solução descrita pela equação anterior representa o espaço tempo nas proximidades de uma distribuição estática e esfericamente simétrica de massa, sendo uma boa aproximação para o efeito gravitacional gerado nas proximidades de planetas e estrelas. Em geral, quando a coordenada radial do planeta/estrela excede o valor $2GM/c^2$, denominado Raio de Schwarzschild, nenhuma anormalidade é observada e os efeitos gravitacionais são próximos daqueles obtidos pela teoria de Newton. No entanto, quando este valor é menor que $2GM/c^2$, há uma região onde a parte temporal da métrica se torna aparentemente mal definida, essa região delimita uma superfície chamada horizonte de eventos, sua presença é uma das características principais dos buracos negros.

Em cursos básicos de Física costuma-se definir o buraco negro como uma fonte gravitacional tão forte que sua velocidade de escape seria superior à velocidade da luz, esse foi o princípio utilizado para obter o “raio do buraco negro” explícito na equação (2), que coincide com o raio do horizonte de eventos previsto por Schwarzschild. Embora intuitiva, essa definição é um tanto incompleta, visto que falha em descrever muitos aspectos fundamentais destes objetos. Voltemos para o horizonte de eventos definido geometricamente por $R=2GM/c^2$. Essa superfície esférica, apesar da aparente indefinição matemática, trata-se de uma singularidade removível, ou seja, é uma singularidade não fundamental que pode ser 'consertada' por uma

escolha diferente de coordenadas. O horizonte de eventos é uma superfície nula, ou tipo luz, que está relacionada a uma série de fenômenos interessantes. Por exemplo, para um observador distante, um corpo caindo em direção ao horizonte de eventos parece ficar cada vez mais lento de forma a parecer nunca atravessar o horizonte de eventos, a luz que este objeto emite também sofrerá gradualmente um *redshift* gravitacional (diminuição de frequência, que torna a luz no espectro visível mais avermelhada, consequência direta da dependência radial da parte espacial da métrica) até finalmente “sumir” sem atravessar a superfície do horizonte de eventos.

Como nenhuma luz escapa de um buraco negro, é impossível alguém assistir de verdade a sua queda. No espaço, ninguém pode ouvir você gritar; e, em um buraco negro, ninguém pode ver você desaparecer (SHUKMAN, David, 2017).

O horizonte de eventos tem esse nome por delimitar uma região de onde, a priori, nem um tipo de informação poderia escapar. A razão disto é que a região interior ao horizonte demarca um espaço-tempo onde todas as geodésicas orientadas para o futuro levam ao centro do buraco negro. De forma análoga à visão de que a atração gravitacional nesta região seria tão forte que nada pode escapar (como discutido na seção 2.1), tudo é então irrefutavelmente atraído para a singularidade fundamental no centro. Efetivamente acredita-se que toda matéria/energia do buraco negro encontra-se localizada nesse ponto central.

A singularidade fundamental, diferentemente do horizonte de eventos, é uma singularidade dita não-removível, onde a métrica torna-se de fato indefinida. Este problema matemático fundamental levou muitos a acreditarem que a solução de buraco negro seria uma falha da teoria. Foi necessário um extenso estudo, tendo como expoentes Hawking e Penrose para formalizar o aparato matemático que descreve a singularidade.

2.5 Origem dos buracos negros

Todas as estrelas nascem das nuvens de poeira e gás, mas a vida de cada uma delas difere dependendo da quantidade de massa adquirida. Por meio disso, o fim de seus ciclos podem se transformar em diversos remanescentes, que vão de anãs brancas a buracos negros.

A formação destes astros luminosos ocorre da junção de gases nas nebulosas compostas por hélio e hidrogênio. Em virtude da força gravitacional, as moléculas vão sendo atraídas, o que faz com que a nebulosa contraia-se. Isso causa um aumento na temperatura e quando atingido o índice suficiente, essa enorme bola de gás passa a emitir luz, e o hidrogênio começa a "queimar". Esse processo é chamado de fusão nuclear, onde é liberada muita energia, sendo irradiada para fora da estrela. Isso é o que gera seu brilho e a mantém viva (TEIXEIRA, Mariane Mendes).

Todavia, quando o hidrogênio das estrelas massivas acaba, elas começam a fundir o hélio, carbono e ferro. Porém, o processo de fusão realizado pelo ferro não libera energia, apenas consome, visto que é pesado demais para prosseguir os ciclos de fusão nuclear, o que exige uma quantidade maior de energia do que a estrela dispõe.

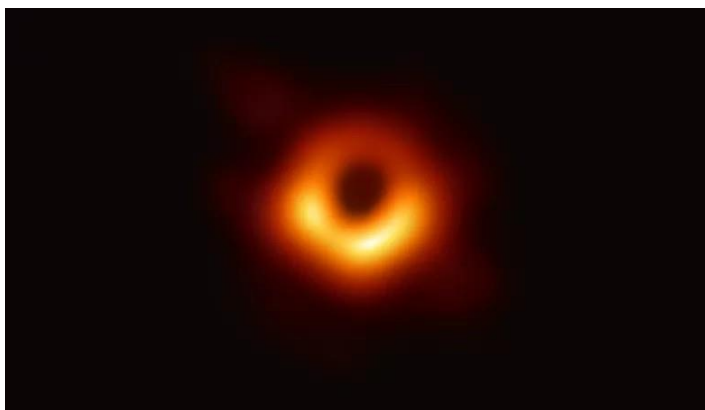
Em virtude disso, a estrela acaba ficando sem combustível num intervalo de tempo muito curto em termos cosmológicos. Com isso, ela passa a colapsar, causando uma explosão luminosa, de curta duração na escala espacial, denominada supernova. “A NASA descreve as estrelas como painéis de pressão. A força explosiva da fusão nuclear em seu interior cria uma pressão para fora que é contrabalançada pela gravidade, que puxa tudo de volta para dentro” (SHUKMAN, David, 2016, p.17).

Um dos resultados dessa explosão, em consequência da sua compressão, gera uma massa muito grande numa região muito pequena do espaço-tempo, onde o campo gravitacional é tão alto que nem mesmo a luz é capaz de escapar, dando assim origem aos buracos negros (LAPOLA, Marcelo, 2021).

2.6 A primeira imagem de um buraco negro

Utilizando oito telescópios espalhados pelo mundo, os astrônomos capturaram a primeira imagem desse corpo exótico espacial, estando a cerca de 53 milhões anos luz da terra, localizado no centro da galáxia M87 (Messier 87), contendo cerca de 6 bilhões de vezes a massa do sol.

Figura 3 - Primeira imagem de um buraco negro.



Fonte: TOSAR, B. Assim se "fotografa" um buraco negro. El País, 11 abr. 2019. Disponível em: [https:// brasil.elpais.com/brasil/2019/04/10/ciencia/1554906802_123817.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2019/04/10/ciencia/1554906802_123817.html). Acesso em: 25 de outubro de 2022. Legenda: Imagem do horizonte de eventos de um buraco negro super massivo, obtida pelo EHT, em 2019.

Os dados do telescópio foram coletados pelo Event Horizon Telescope, unindo telescópios espalhados pelo mundo, uma técnica conhecida como interferometria, tornando possível somar os dados dos oito radiotelescópios para simular um supertelescópio de grande expansão, como a separação entre as antenas, quanto o tamanho do nosso próprio planeta. (SM Educação, 2020). Na foto é possível observar uma espécie de lua crescente luminosa, mas a parte mais interessante está no que não se vê, o buraco negro é o círculo escuro que o arco de luz envolve. Este círculo é o horizonte de eventos, qualquer coisa que cruze esta linha cairá irremediavelmente no intenso campo gravitacional sem possibilidade nenhuma de escapar, nem mesmo a luz.

3. METODOLOGIA

Esse estudo consistiu numa análise descritiva e crítica, de natureza documental e bibliográfica, onde os dados estudados foram tratados qualitativamente. Para a análise foram selecionados dois livros, duas matérias colunistas e um canal na plataforma digital *Youtube*. Os materiais compreendem meios de divulgação científica onde foram abordadas informações a respeito dos buracos negros.

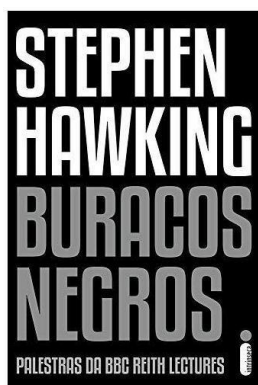
Quadro 1 - Materiais de divulgação científica selecionados para análise de aspectos qualitativos sobre buracos negros

Nº	LIVROS/MATÉRIAS/CANAL	AUTORES	EDITORA	ANO
L1	Buracos negros	Stephen Hawking	Intrínseca LTDA	2017

L2	Morte do buraco negro e outros dilemas cósmicos	Neil deGrasse Tyson	Planeta do Brasil LTDA	2016
M1	Por trás do buraco negro que “vomita”, a ciência corre risco de virar piada	Thiago Gonçalves	UOL	2022
M2	Encontraram o buraco negro mais próximo da Terra, Por que só agora?	Thiago Gonçalves	UOL	2022
C1	Ciência todo dia	Pedro Loos	Pedro Loos	2012

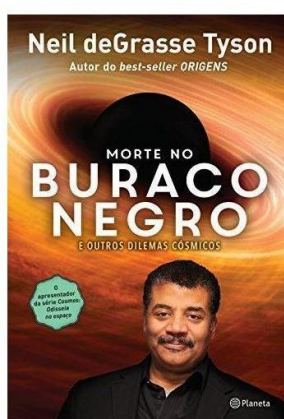
Fonte: Autoria própria

Figura 4 - Livro 'Buracos Negros', do Stephen Hawking



Fonte: Zoom

Figura 5 - Livro 'Morte no buraco negro e outros dilemas cósmicos', do Neil deGrasse Tyson



Fonte: Mercado Livre, 2016

Figura 6 - Matéria 'Por trás do buraco negro que vomita, a ciência corre risco de virar piada', do Thiago Gonçalves



Fonte: UOL, 2022

Figura 7 - Matéria 'Encontraram o buraco negro mais próximo da Terra. Por que só agora?', do Thiago Gonçalves



Fonte: UOL, 2022

Figura 8 - Canal 'Ciência Todo Dia', do Pedro Loos



Fonte: Ciência todo dia, 2012

A escolha desses veículos deu-se pelo fato de serem materiais interessantes e por serem fontes gratuitas e de fácil acesso, sendo fator decisivo para escolha, pela praticidade que essas fontes proporcionam. A facilidade de acesso através da internet e o fato de não requererem qualquer custo adicional foram aspectos que permitiram desfrutar de informações atualizadas e variadas sem grandes obstáculos a respeito dos buracos negros.

Para verificação do tema buracos negros foram observados os seguintes aspectos: Definição e características; Abordagem teórica; Estratégias de divulgação científica; Fundamentação teórica.

1. Definição e característica: Entendimento do que são buracos negros, como eles são formados, suas propriedades físicas e suas implicações na cosmologia.
2. Abordagem teórica: Examinar as diversas teorias que tentam explicar as características dos buracos negros.
3. Estratégias de divulgação científica: Discussão de estratégias adotadas para passar para o público em geral, e como sua representação na cultura popular pode influenciar a percepção pública da ciência.
4. Fundamentação teórica: Avaliar a robustez dos argumentos apresentados e se eles são apoiados por evidências convincentes.

O estudo voltado aos conceitos de buracos negros, tem como base principal a teoria da relatividade formulada por, Albert Einstein. Considerando a familiaridade e a relação com a internet e as mídias digitais transpostas pelos jovens na atualidade, o presente trabalho tem o intuito de estudar e promover a divulgação científica, cuja atuação tem entre outras finalidades, motivar alunos da graduação em Física que possam vir a se interessar pela área, bem como despertar em estudantes do ensino básico e da população geral o interesse a essas temáticas mais aprofundadas da física.

Desse modo, esse trabalho consiste numa pesquisa documental, aliada ao estudo teórico de caráter revisório realizado previamente e discutido na fundamentação deste artigo, focada na análise dos aspectos qualitativos sobre as características relevantes da relatividade geral e dos buracos negros como abordados nos meios de divulgação científica propostos.

Em razão do que foi exposto, a ênfase dada aos buracos negros é um importante fator nesse discorrimento acerca do estímulo a se ingressar no curso de física. A importância de estudá-lo está exatamente no fato de saber-se muito pouco sobre eles, e por mais que existam teorias quanto ao que ocorre dentro de um, não há nada que se possa afirmar até então que tenha sido comprovado, pois nenhuma informação emerge dele. Dessa maneira, os conhecimentos obtidos a partir desses fenômenos anônimos às nossas vivências, provocam um interesse maior aos indivíduos de se investigar e pesquisar sobre eles.

4. ANÁLISE DAS FONTES PROPOSTAS⁴

4.1 Buracos negros – Stephen Hawking

O livro *Buracos Negros*, de Stephen Hawking, (HAWKING, Stephen, 2017) é uma compilação de palestras proferidas por alguns dos principais físicos e astrônomos da atualidade, como Lisa Randall, Neil deGrasse Tyson, incluindo Stephen Hawking. Ele apresenta uma série de aspectos teóricos importantes relacionados à Física teórica e à astrofísica, e indica muitos dos conceitos fundamentais que são essenciais para entender o universo e os objetos mais exóticos que ele contém.

Alguns dos principais tópicos abordados no livro incluem a Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein, onde Hawking discute os conceitos fundamentais dessa teoria e como ela se aplica ao estudo de buracos negros, além de apresentar a ideia de que eles são objetos extremamente densos, com uma força gravitacional tão intensa que nada é capaz de escapar de sua atração.

Hawking busca também explicar como os buracos negros podem ser descritos em termos da termodinâmica, com uma temperatura e entropia associadas, propondo que os tais objetos cósmicos emitem uma radiação térmica devido à mecânica quântica. Ainda no livro, ele discute a teoria das cordas e como ela pode ser usada para resolver alguns dos problemas fundamentais da Física, incluindo a natureza dos buracos negros.

Na seção 1 do livro, com o respectivo título, “Buracos Negros não têm cabelo?”, Hawking traz uma anedota para ilustrar a ideia de que eles não possuem cabelo significa que são objetos simples e que todas as informações relevantes sobre eles podem ser descritas apenas por sua massa, carga elétrica e momento angular. Isso é conhecido como o “teorema da calvície” e foi originalmente proposto por John Archibald Wheeler em 1970.

Nas palavras do próprio autor, “de fora, não dá para dizer o que há dentro de um buraco negro. Você pode jogar aparelhos de TV, anéis de diamante ou até seus piores inimigos dentro de um, mas o buraco negro só vai lembrar sua massa total, seu estado de rotação e sua carga elétrica. John Wheeler é conhecido por expressar esse princípio com a seguinte máxima: “Um buraco negro não tem cabelo.” Para os franceses, isso só serviu para confirmar as suspeitas” (HAWKING, Stephen, 2017).

De acordo com este teorema, um buraco negro não pode ter propriedades adicionais, como por exemplo um campo magnético, além das já mencionadas. Isso significa que, uma vez que um buraco negro tenha sido criado, todas as informações sobre a matéria que o originou são perdidas e só podem ser descritas em termos de massa total, carga elétrica e seu estado de rotação. Essa ideia tem implicações profundas para a física teórica, pois levanta questões sobre a natureza da informação e sua conservação no universo.

Ademais, na seção 2 do livro, descrito por “Buracos Negros não são tão negros quanto se diz”, Stephen intriga ao apresentar o conceito de que os buracos negros não são completamente “negros”. De forma envolvente ele relata que ao imaginar que um astronauta corajoso decidido a saltar em um buraco negro, quando ele se aproxima do horizonte de eventos, a região em que a gravidade é tão forte que nada pode escapar, ele começa a sentir um puxão cada vez mais forte. À medida que ele se aproxima do horizonte, ele começa a emitir luz. Essa luz é emitida porque ele está sendo acelerado pela gravidade do buraco negro. Então, ele começa a brilhar como uma estrela. Se ele pudesse sobreviver à força da gravidade, ele veria a luz de todas as outras estrelas do universo reunidas em um único ponto brilhante à sua frente. Ele estaria olhando para o coração do buraco negro.

Esse relato ilustra que, na verdade, os buracos negros emitem radiação e não são tão “negros” quanto se pensava anteriormente. Isso é conhecido como Radiação Hawking, e foi mais uma das descobertas de Stephen Hawking. Por conseguinte, as seções apresentadas do livro trazem questões fundamentais da Física, sendo discutidas de forma clara e concisa. Desse modo, no tocante à educação, o livro é destinado ao público geral interessado em astronomia, física e cosmologia. Embora algumas das ideias e conceitos apresentados possam ser complexos, Hawking e os palestrantes da BBC fazem um esforço para explicá-los de maneira clara e acessível para os leitores.

⁴ Como exposto anteriormente, nesta análise, busca-se explorar o tema sobre buracos negros, abordados nos meios de divulgação científica, bem como analisar e discutir as estratégias utilizadas pelos autores para comunicar o assunto a um público geral. Ao final deste trabalho, espera-se proporcionar uma visão abrangente e perspicaz sobre esses meios, destacando seus pontos fortes e eventuais limitações, e apresentar uma apreciação crítica dessas obras.

As palestras da BBC foram originalmente concebidas como um meio para discutir e explorar temas importantes da sociedade e da cultura contemporânea, e, portanto, não são exclusivamente voltadas para um público científico. Ainda assim, os temas abordados nas palestras de Hawking e em seu livro podem ser desafiadores e exigem um interesse genuíno e um certo nível de compreensão prévia da ciência. No entanto, com um pouco de dedicação e curiosidade, qualquer pessoa pode apreciar e compreender as ideias discutidas em ambos os meios.

Posto isso, o livro traz uma leitura envolvente e informativa que oferece uma excelente introdução ao estudo desses objetos celestes. A combinação de *insights* teóricos e observacionais torna o livro uma referência valiosa para aqueles que desejam entender melhor a despeito desse fenômeno intrigante.

4.2 Morte do buraco negro e outros dilemas cósmicos

Neil deGrasse Tyson, apresentador da série *Cosmos*, é um cientista muito popular em todo o mundo por sua habilidade em guiar seus admiradores através dos mistérios do universo com clareza e entusiasmo. Reunindo mais de quarenta dos seus ensaios favoritos, "Morte no buraco negro - e outros dilemas cósmicos", explora uma variedade de tópicos da astronomia e das ciências em geral. Desde a vida extraterrestre nas fronteiras da astrobiologia, até a experiência hipotética de cair em um buraco negro. Adicionalmente, ele investiga a conexão entre ciência e religião, abrangendo conflitos históricos, e conta a história da progressão do planeta Terra, desde sua suposta colocação no centro do universo até sua presente e irrelevante condição no cosmos.

O livro aborda diversos temas do universo, desde buracos negros até a teoria do Big Bang, de uma maneira acessível e interessante para leitores leigos no assunto. Tyson utiliza uma linguagem clara e envolvente, explicando conceitos complexos de forma didática e utilizando exemplos do cotidiano para facilitar a compreensão.

A obra é dividida em sete seções, cada uma explorando um tema diferente relacionado à astronomia e à cosmologia. O seguimento de maior ênfase em relação aos buracos negros é abordado na seção 5. Nele o autor explora em detalhes a natureza dos buracos negros e as implicações fascinantes que eles têm para a nossa compreensão do universo.

Primeiramente, Neil descreve a origem dos buracos negros, que se formam quando uma estrela massiva esgota todo o seu combustível nuclear e entra em colapso sob sua própria gravidade. O resultado é uma região do espaço tão densa, que a força gravitacional torna-se tão intensa, que nem a luz pode escapar dela, dando origem ao buraco negro, assim como já discutido na seção 2.5.

O autor, então, discute as propriedades desses objetos cósmicos, incluindo seu tamanho, massa, bem como a maneira como eles afetam o espaço e o tempo ao seu redor. Ele também apresenta a ideia de que os buracos negros podem estar no centro de muitas galáxias, incluindo a nossa própria Via Láctea, e que podem ter desempenhado um papel fundamental na formação e evolução destas.

Outro importante assunto abordado na seção do livro é a possibilidade de viajar através de um buraco negro. Embora atualmente não exista tecnologia que permita que isso seja feito, a teoria da relatividade de Einstein sugere que seria possível atravessar um buraco negro sem ser destruído pela intensa gravidade em seu interior. No entanto, isso é altamente especulativo e permanece uma questão em aberto.

Em específico da quinta seção intitulada “Matar todos” do livro, o autor discute os efeitos de um buraco negro que chegasse perto demais da Terra. Ele descreve como ele esfacelaria o planeta em virtude de suas forças de maré incontornáveis e consumiria o planeta inteiro, expelindo os restos através do espaço-tempo até sua singularidade. Porém, ele aponta que não há evidências no registro geológico da Terra de contatos imediatos remotos com buracos negros, sugerindo que o número deles na vizinhança da Terra é mínimo e que há questões mais urgentes de sobrevivência a serem enfrentadas.

Prosseguindo com a seção 5, no tópico nomeado “Morte pelo buraco negro”, o renomado astrofísico descreve que a velocidade de escape da Terra é de apenas 11 km/s, mas a velocidade de escape de um buraco negro é maior que a velocidade da luz. A teoria da relatividade geral de Einstein permitiu compreender a estrutura do espaço e tempo em um ambiente de alta gravidade, e o tamanho de um buraco negro é definido pelo seu horizonte de eventos, que é a fronteira exata entre o que pode e o que não pode escapar do seu poço gravitacional.

Se uma pessoa caísse em um buraco negro, a força de gravidade cresceria cada vez mais à medida que se aproximasse do centro, mas ela não sentiria essa força porque estaria em queda livre e sem peso. O que a pessoa sentiria seriam as forças de maré, que cresceriam à medida que se aproximasse do centro, até que a diferença entre as forças de maré em diferentes partes do corpo fosse tão grande, que o corpo se rasgasse em pedaços. As moléculas orgânicas seriam então dilaceradas em farrapos pela força das marés. Torna-se evidente, portanto, que as habilidades de Tyson em comunicar ideias complexas em linguagem acessível, juntamente com a abordagem interdisciplinar, tornam o livro uma referência útil para estudantes, profissionais e entusiastas da ciência.

4.3 Por trás do buraco negro que “vomita”, a ciência corre risco de virar piada

A matéria escrita pelo colunista Thiago Gonçalves, aborda uma questão relevante sobre a forma como a ciência é divulgada na mídia, especialmente no contexto brasileiro. O autor expressa preocupação com a tendência de manchetes sensacionalistas e humorísticas sobre buracos negros e destaca a importância de encontrar linguagens acessíveis para comunicar a ciência à sociedade. Ele ressalta a dificuldade de emplacar notícias sobre ciência nacional nos jornais e critica o baixo investimento em divulgação científica no Brasil.

O autor também compara a imagem da NASA nos Estados Unidos, onde a agência espacial utiliza o humor para divulgar suas pesquisas e goza de prestígio e respeito, com a situação no Brasil, onde as universidades muitas vezes são alvo de chacota e *fake news*. Ele lamenta a falta de respeito pela pesquisa científica brasileira e destaca a importância de valorizar e reconhecer o trabalho dos cientistas do país.

Em razão disso, o autor faz alusão a uma notícia lida por ele sobre “buraco negro vomitando uma estrela após ingeri-la”. O evento mencionado, na realidade trata-se da chamado perturbação de maré (ou *Tidal Disruption Event* – TDE), ocorre quando uma estrela se aproxima muito de um buraco negro e é destruída devido à intensa força gravitacional exercida pelo buraco negro.

Quando uma estrela se aproxima o suficiente de um buraco negro, a diferença de força gravitacional em partes diferentes da estrela, devido ao fenômeno conhecido como força de maré, pode levar à sua desintegração. A estrela é esticada e comprimida em um processo chamado de espaguetificação, devido ao gradiente de força gravitacional extremamente forte próximo ao buraco negro. Os materiais da estrela são puxados para o buraco negro, formando um disco de acreção (um disco de matéria extremamente aquecida, como aquele visível na primeira imagem de um buraco negro, seção 2.6) ao seu redor.

Esse evento destrutivo gera uma emissão intensa de radiação proveniente do material que está sendo aquecido e acelerado enquanto é consumido pelo buraco negro. Essa radiação pode ser observada por telescópios em várias faixas do espectro eletromagnético, incluindo luz visível, raios-X e ondas de rádio.

Por conseguinte, inferimos que o uso de humor na divulgação científica pode ser uma tática eficaz para tornar a ciência mais atraente, mas é importante não reduzi-la a um mero entretenimento. É fundamental destacar sua importância e impacto na sociedade, valorizar a pesquisa científica nacional e investir em divulgação científica para aumentar a compreensão pública e o apoio à ciência.

4.4 Encontraram o buraco negro mais próximo da terra, Por que só agora?

A matéria publicada pela UOL, bem como escrita pelo colunista Thiago Gonçalves, trata da descoberta do buraco negro mais próximo da Terra, que foi anunciada em abril de 2022. A descoberta foi realizada por uma equipe internacional de cientistas usando dados coletados pelo telescópio espacial Gaia da Agência Espacial Europeia (ESA) e outros observatórios terrestres.

É explicado na matéria, que apesar de existirem muitos buracos negros em nossa galáxia, encontrar um que esteja próximo o suficiente para estudá-lo mais de perto é muito difícil. Isso ocorre porque os buracos negros não emitem luz e, portanto, só podem ser detectados indiretamente por meio da observação dos efeitos gravitacionais que exercem sobre a matéria circundante. A importância dessa conquista concebeu o Prêmio Nobel de Física em 2017, reconhecendo o impacto transformador que as ondas gravitacionais trouxeram para a compreensão dos buracos negros e de outros fenômenos astrofísicos.

Desse modo, é sugerido na matéria que a descoberta do buraco negro mais próximo da Terra só foi possível agora devido ao uso de novas técnicas e tecnologias avançadas de observação. Em particular, o telescópio espacial Gaia permitiu aos cientistas medir com grande precisão a posição, movimento e distância de milhões de estrelas em nossa galáxia. Esses dados foram combinados com observações de outros telescópios terrestres para identificar estrelas que estavam orbitando um objeto invisível com uma massa muito grande num forte indicativo da presença de um buraco negro.

Considerando essa perspectiva, a detecção do buraco negro mais próximo da Terra se tornou uma realidade graças à aplicação de métodos inovadores e tecnologias de observação, com destaque para o telescópio espacial Gaia. Essa descoberta pode desencadear avanços inéditos no entendimento da origem e desenvolvimento dos buracos negros, bem como na compreensão de suas interações com as estrelas vizinhas.

4.5 Ciência todo dia

O canal na plataforma *YouTube* denominado Ciência todo dia, é um perfil brasileiro de divulgação científica que tem como objetivo trazer informações e curiosidades sobre Ciência para o público em geral. Ele foi criado e desenvolvido em 2012, por Pedro Loos e atualmente possui mais de 3,5 milhões de inscritos e mais de 428 milhões de visualizações.

Logo, o *youtuber* utiliza uma abordagem científica em seus vídeos, analisando fenômenos de forma objetiva e sistemática com evidências empíricas. No entanto, levando em consideração que essa abordagem pode ser bastante complexa e de difícil compreensão, Pedro torna o conteúdo mais acessível ao simplificar a linguagem e apresentar informações de forma clara e direta. Ele abrange uma variedade de temas relacionados à ciência, desde a física mais simplificada à mais complexa. Alguns dos vídeos mais populares do canal incluem explicações sobre a teoria da relatividade, a história da ciência e curiosidades sobre o universo.

Diante disso, a conta explora uma variedade de temas científicos, incluindo física, astronomia e cosmologia, e apresenta informações sobre buracos negros em muito dos seus vídeos. Embora não seja um tema central do canal, é possível encontrar diversos vídeos que tratam de aspectos como 'O maior buraco negro já encontrado no universo', 'A primeira imagem do buraco negro no centro da Via Láctea', 'A estranha Radiação Hawking', 'Como os buracos negros são criados', 'Colisão entre dois buracos negros', 'A luz atrás do buraco negro', 'Paradoxo de informação'.

É importante notar, no entanto, que o tema dos buracos negros é apenas uma das muitas áreas abordadas pelo canal, que tem um amplo escopo de temas científicos interessantes. Contudo, honrando o objeto de estudo deste trabalho que versa sobre buracos negros, Loos traz em um dos seus vídeos, o conteúdo intitulado "O Paradoxo da Informação", o apresentador explica que esse paradoxo descreve a aparente violação das leis da termodinâmica em sistemas com informação, que pode ser convertida em energia.

Porém, a informação pode ser usada para diminuir a entropia de um sistema desde que haja uma compensação em outro lugar, segundo o princípio da informação de Landauer. Quando um *bit* de informação é apagado, deve ser dissipado na forma de calor, aumentando a desordem do ambiente, estando ela sujeita às leis da termodinâmica da mesma forma que a energia.

Mediante isso, o paradoxo da Informação em Buracos Negros é um tema relevante na Física, já que a teoria estabelece que toda informação que adentra um buraco negro é aniquilada e perdida irreversivelmente, entrando em contraposição à Lei da Conservação da Informação, que sustenta que a mesma é transformada e não destruída. O cerne da questão reside em como é possível preservar a informação no interior de um buraco negro, em concordância com a teoria da relatividade geral, que veta a destruição da informação. No entanto, a mecânica quântica sugere que a informação pode ser perdida em buracos negros.

Uma solução proposta para esse paradoxo é a ideia de que a informação não é realmente destruída dentro do horizonte de eventos, mas sim codificada em sua superfície, na forma de radiação de Hawking. Essa radiação é emitida pelo buraco negro devido à aspectos da teoria quântica, que permite que as partículas apareçam e desapareçam no espaço vazio.

Prosseguindo com a discussão sobre buracos negros, o canal apresenta o conteúdo sobre a colisão entre esses objetos cósmicos, que quando aproximados o suficiente um do outro, a força gravitacional se torna forte o suficiente para causar a sua fusão em um único buraco negro. Esse fenômeno é previsto pela teoria da relatividade geral de Albert Einstein.

Quando dois buracos negros estão em rota de colisão, eles começam a orbitar um ao redor do outro em uma espiral cada vez mais próxima. Essa órbita é acompanhada por ondas gravitacionais, que são ondulações no tecido do espaço-tempo que se propagam a uma velocidade próxima à velocidade da luz (VIANA, Guilherme, 2019).

Conforme os buracos negros se aproximam, as ondas gravitacionais se tornam mais intensas e sua frequência aumenta. Eventualmente, eles se fundem em um único buraco negro, liberando uma grande quantidade de energia em forma de ondas gravitacionais que se propagam pelo espaço-tempo. Ademais, há uma pluralidade de conteúdos concernentes a buracos negros no referido canal. Compreender a natureza desses objetos cósmicos e como eles afetam o espaço e o tempo é fundamental para entendermos o universo em que vivemos. A razão pela qual acompanhá-lo reside no fato de ser um recurso valioso para qualquer pessoa interessada em aprender mais sobre esse fascinante tema e que está em constante evolução.

5. DISCUSSÃO GERAL

A divulgação científica é um meio fundamental para tornar a ciência acessível e atrair um público mais amplo. Através de diferentes meios, informações científicas são transmitidas de forma mais informal e de fácil compreensão. Essa abordagem mais informal tem um objetivo de despertar o interesse das pessoas pela ciência e incentivá-los a buscar conhecimento.

No entanto, é importante lembrar que ela não substitui a literatura científica tradicional. Enquanto ela busca simplificar conceitos complexos, muitas vezes recorrendo a metáforas, analogias e exemplos práticos, a literatura científica mais formal é baseada em estudos e pesquisas detalhadas, sujeitas a revisões por pares e publicadas em periódicos científicos, sendo resultado de um processo rigoroso de investigação, no qual as ideias são testadas, experimentos são realizados e os resultados são analisados de forma crítica. Elas são essenciais para a progressão do conhecimento e descritas com uma matemática muito sofisticada.

Portanto, embora a popularização científica seja uma ótima maneira de introduzir conceitos científicos ao público, é importante que as pessoas em geral, não deixem de buscar informações nas referências acadêmicas para obter uma compreensão mais completa e precisa dos assuntos abordados. Ela oferece uma visão mais aprofundada dos processos e métodos utilizados nas pesquisas, bem como uma análise crítica dos dados apresentados.

Em vista disso, tomar cuidado com o que se consome nos meios de divulgação científica é fundamental. É importante avaliar a reputação da fonte, verificar se as informações são respaldadas por evidências científicas sólidas e procurar fontes confiáveis para obter uma perspectiva mais abrangente. Além disso, é sempre recomendado consultar publicações originais quando se busca informações mais detalhadas e precisas sobre um determinado assunto.

Em virtude do que foi exposto, convém mencionar o exemplo de um dos meios analisados, o canal Ciência Todo dia, embora o conteúdo disponibilizado apresente um auto padrão de qualidade, seria considerado uma prática recomendável fornecer informações adicionais sobre o apresentador do conteúdo, a equipe de apoio envolvida e as fontes de pesquisa utilizadas para embasar as informações fornecidas em seus vídeos.

No entanto, não se deve de maneira alguma desvalorizar o valioso esforço em divulgar a Ciência. Por vezes, mesmo na mídia científica mais tradicional, nem sempre é fácil encontrar referências científicas formais, especialmente em notícias ou artigos de divulgação científica destinados a um público mais amplo. Isso ocorre porque o objetivo dessas publicações muitas vezes é tornar a informação mais acessível, o que pode envolver simplificações ou a ausência de referências diretas a estudos científicos específicos.

Portanto, é fundamental que os leitores e consumidores de informações científicas estejam cientes dessas limitações e adotem uma abordagem crítica ao avaliar qualquer fonte de informação. Para fins mais técnicos, é sempre recomendável buscar fontes confiáveis, como periódicos respeitados, sujeitos a revisão por pares, livros acadêmicos e artigos de especialistas reconhecidos, para obter informações mais embasadas e confiáveis sobre determinado assunto.

No que diz respeito às fontes abordadas, através do que foi exposto, foi possível constatar que durante a análise meticulosa do canal de comunicação, obras literárias e matérias jornalísticas, que os autores abordam uma considerável parcela dos conteúdos relacionados à temática dos buracos negros, os quais já vêm sendo discutidos ao longo deste estudo. Destaca-se, em especial, a teoria da relatividade, a qual é amplamente explorada nos quatro meios supracitados, enfatizando-se um conjunto de formulações propostas por Albert Einstein no século XX, mostrando que é possível oferecer ao público uma visão mais embasada na física contemporânea e suas nuances.

A publicação veiculada pela UOL, sob a autoria de Thiago Gonçalves, acerca da descoberta do buraco negro mais próximo da Terra, estabelece uma conexão com o tópico da fundamentação teórica, descrevendo a utilização de telescópios para capturar a primeiraimagem desse corpo cósmico. Embora as abordagens empregadas em ambas as fontes citadas sejam distintas, elas relacionam-se ao tema comum e contribuem para a compreensão desse fenômeno astronômico.

Ao analisar o livro de deGrasse, é perceptível que o autor entrelaça o conceito de buracos negros com a teoria da relatividade geral de Einstein. Ele descreve por exemplo os efeitos observados ao se testemunhar um corpo caindo em direção ao buraco negro, a desaceleração do movimento e o desvio para o vermelho da luz emitida pelo objeto em queda, ambos ligados a dilatação temporal, consequência direta da solução de Schwarzschild próxima do horizonte de eventos, quando a componente temporal da métrica tende a zero.

Dessa maneira, o autor associa os conceitos expostos em sua obra à teoria da relatividade geral, que foi previamente introduzida ao longo do artigo, estabelecendo, assim, uma base sólida para a compreensão dos buracos negros. Ainda sim, por vezes é necessário dar uma roupagem mais newtoniana, como quando se fala da velocidade de escape inerente a esses objetos celestiais.

Ainda no livro de Tyson, é descrita a origem dos buracos negros, que ocorre quando uma estrela massiva esgota todo o seu combustível nuclear e entra em colapso sob sua própria gravidade. Essa descrição está de acordo com a fundamentação teórica apresentada neste trabalho, onde é explicado que as estrelas nascem a partir de nuvens de poeira e gás, e sua vida e destino dependem da quantidade de massa adquirida. Um estudo mais completo do colapso estelar envolve nuances teóricas bastante complexas, mas dentro da abordagem proposta pelo autor é possível passar o tema de forma bastante acessível.

Nesse sentido, de acordo com as análises decorrentes dos diversos meios de divulgação científica, em uma perspectiva ampla, foi evidente constatar uma diversidade de abordagens acerca dos buracos negros, as quais foram elaboradas de maneiras distintas pelos respectivos autores. Onde eles buscaram articular estratégias de ensino e comunicação que promovessem uma visão histórica coletiva da ciência, com o objetivo de facilitar o entendimento dos conceitos relativísticos.

Com o intuito de ilustrar de maneira mais acessível e envolvente as ideias expostas nos referidos meios, os autores recorrem ao uso de figuras de linguagem, visando facilitar a compreensão do conceito teórico, tornando-o mais tangível e visualmente apreensível. Desse modo, almeja-se despertar o interesse do leitor e conferir maior memorabilidade às informações transmitidas.

Prosseguindo com o desenvolvimento apresentado e observado nas obras analisadas, também são empregadas estratégias que envolvem a aplicação de uma narrativa envolvente, a fim de explanar o conceito dos buracos negros. Essa abordagem estimula a imaginação dos leitores, facilitando a compreensão e a retenção dos conhecimentos apresentados.

Assim sendo, a análise realizada proporciona uma riqueza de informações e conceitos fascinantes acerca da natureza dos buracos negros e do seu papel no universo. Tais informações englobam a origem e formação desses corpos celestes, suas propriedades, sua relação com a teoria da relatividade, suas implicações para o universo e sua conexão com a física quântica.

Apesar de ser um assunto complexo, os autores conseguem apresentar de forma acessível conceitos científicos de alta complexidade para leitores não especializados. Contudo, ter um conhecimento básico nessa área certamente irá melhorar a compreensão geral das fontes discutidas. Ao possuí-lo, o leitor estará mais preparado para assimilar e compreender as explicações e ideias apresentadas pelos autores.

Em suma, embora o conhecimento da relatividade geral seja fundamental para a compreensão dos buracos negros, as obras abordam uma variedade de tópicos adicionais, como a mecânica quântica, a termodinâmica e a teoria da informação. Isso proporciona uma visão ampla e abrangente desses fascinantes objetos cósmicos, que desempenham um papel fundamental ao aproximar o leitor do mundo da ciência, ampliar horizontes, inspirar o pensamento crítico e estimular a curiosidade em relação ao nosso entorno.

Ademais, encontrar materiais sobre buracos negros em diversos meios de comunicação, como livros populares de divulgação científica, documentários, programas de TV e sites especializados em astronomia e física, é relativamente fácil. No entanto, é importante ter em mente que nem todas as fontes são igualmente precisas e confiáveis. É recomendado buscar informações estabelecidas e verificadas, como livros escritos por cientistas renomados, sites acadêmicos e publicações revisadas.

Portanto, a apresentação de temas científicos consideravelmente avançados nos meios de divulgação científica pode ser uma ferramenta valiosa para a educação e o interesse público pela ciência. Entretanto, é necessário tomar certas precauções ao consumir esse tipo de conteúdo no que diz respeito à comunicabilidade das fontes, contexto e interpretação, além do sensacionalismo utilizado para atrair a atenção do público.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise crítica dos diferentes meios de divulgação científica sobre buracos negros revela a importância de uma abordagem cuidadosa e precisa para transmitir informações complexas ao público em geral. É essencial que a divulgação seja precisa, acessível, livre de sensacionalismo e fundamentada em fontes confiáveis. A disseminação correta do conhecimento sobre buracos negros, bem como de diversos outros temas fascinantes dentro da Física e da Ciência em geral, contribui para uma melhor compreensão do universo e incentiva o pensamento crítico e científico entre o público.

Diante dessa análise e das informações obtidas dos livros, matérias e canal, na finalidade de entender o nível de adequação do conteúdo e teorias dos buracos negros ao público em geral, bem como suas qualidades de informações, é possível afirmar que no geral, os meios apresentam boa operacionalização do conteúdo, sendo possível verificar uma abordagem contextualizada do assunto.

Ademais, através da observação feita, foi possível enfatizar a importância da divulgação científica ser feita de forma clara e concisa, utilizando uma linguagem acessível e evitando jargões técnicos, além de fundamentar a necessidade dela ser precisa e confiável, baseada em evidências científicas sólidas e apresentadas de forma imparcial, dentro do possível.

Portanto, a divulgação científica configura-se como uma atividade essencial para disseminação do conhecimento científico e tecnológico para a sociedade em geral. Ela ajuda a aumentar a conscientização sobre os avanços científicos, a promover a compreensão das descobertas e a encorajar a participação do público no diálogo científico.

REFERÊNCIAS

Academo. **Geodesics on the Earth**. Mapa interativo. Disponível em: <https://academo.org/demos/geodesics/>. Acesso em 15 de junho de 2023.

ANANDAKRISHNAN, M. **Planning and popularizing Science and technology for development**. United Nations. Tycooly Publishing, Oxford, 1985. Comunicare – Informativo Interno da Fundação Universidade Federal do ABC nº 150 – novembro de 2022.

BERNARDES, Isadora. **“Qual a importância de se estudar buracos negros?”**. 20 de abril de 2019. Relações internacionais. Disponível em: <https://diariodasnacoes.wordpress.com/2019/04/20/qual-a-importancia-de-se-estudar-buracos-negros/>. Acesso em Agosto de 2022.

Buracos Negros - **Palestras da BBC Reith Lectures - Hawking, Stephen** - 9788551000984. Disponível em: <https://www.zoom.com.br/livros/buracos-negros-palestras-da-bbc-reith-lectures-hawking-phen-9788551000984>. Acesso em: 22 jul. 2023.

CAVALCANTE, Daniele. **“Como as estrelas morrem? Entenda os diferentes tipos de ciclo estelar”**. Canaltech. 3 de novembro de 2020. Disponível em: <https://canaltech.com.br/espaco/como-as-estrelas-morrem-como-funciona-o-ciclo-estelar-173408/>. Acesso em setembro de 2022.

CAROLL, S. **Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity**. San, Francisco: Addison & Weasley, 2004. 513 p.

COSTA, Camila; PAIS, Ana. **“O que é a teoria da relatividade geral de Einstein”**. 24 de maio de 2019. BBC News Brasil. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-48398691>. Acesso em 26 de setembro de 2022.

CIÊNCIA TODO DIA. **Buracos Negros explicados**. 24 de maio de 2020. Disponível em: <https://youtu.be/GbJJRsS6OR4>. Acesso em 15 de out de 2022.

FARIA, Caroline. **“Buraco negro”**. InfoEscola. Disponível em: <https://www.infoescola.com/astronomia/buraco-negro/amp/>. Acesso em 3 de outubro de 2022.

FREIRE, J.C. **Evolução de conceitos de mundo: uma proposta para inserção da teoria da relatividade no ensino médio**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras (2015).

FUKUI, Ana. **Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias: evolução, tempo e espaço: ensino médio** / [et al]; obra coletiva, desenvolvida e produzida por SM Educação; editores responsáveis André Zamboni, Lia Monguilhott Bezerra. – 1.ed. – São Paulo: Edições SM, 2020.

GONÇALVES, Thiago. **"Encontraram o buraco negro mais próximo da Terra. Por que só agora?"**. tiltUOL. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/colunas/thiago-goncalves/2022/11/13/por-que-so-agora-encontram-os-o-buraco-negro-mais-proximo-da-terra.htm>. Acesso em 3 de abril de 2023.

GONÇALVES, Thiago. **"Por trás do buraco negro que 'vomita', a ciência corre risco de virar piada"**. tiltUOL. Disponível em:

<https://www.uol.com.br/tilt/colunas/thiago-goncalves/2022/10/29/astrologia-ciencia-divulgacao-cientifica-pesquisa-brasil-buraco-negro.htm>. Acesso em 5 de abril de 2023.

Hawking, S.W. (Stephen W.), 1942 – **Buracos negros**: palestras da BBC Reith Lectures / Stephen Hawking ; tradução Cassio de Arante Leite . - 1 . ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2017.

HELERBROCK, Rafael. "**Física Moderna**"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/fisica-moderna.htm>. Acesso em 3 de outubro de 2022.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. "**A questão do éter luminífero**"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/a-questao-eter-luminifero.htm>. Acesso em 20 de setembro de 2022.

KIRITHARAN, Donna. "**A história do buraco negro**". Fatos fantásticos. 7 de maio de 2022. Disponível em: <http://fantasticfacts.net/pt/3460/>. Acesso em setembro de 2022.

KOBAYASHI, Eliza. "**Como nascem e morrem as estrelas?**". 8 de julho de 2009. Nova Escola. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/1092/como-nasce-e-morre-uma-estrela>. Acesso em 26 de setembro de 2022.

LAPOLA, Marcelo, pesquisador, doutorado em física pelo ITA (Instituto de tecnologia e aeronáutica). "**Como a teoria da Relatividade Geral de Einstein explica quase tudo**". Galileu. 3 Setembro de 2021. Disponível em: <https://www.google.com/amp/s/revistagalileu.globo.com/amp/ciencia/noticia/2021/09/coo-teoria-da-relatividade-geral-de-einstein-explica-quase-tudo.html>. Acesso em setembro de 2022.

LOOS, Pedro. **Ciência todo dia**. Youtube. Disponível em: <https://youtube.com/@CienciaTodoDia>. Inscreveu-se em 14 de dezembro de 2012.

M.R.R. Sá, **Teoria da Relatividade Restrita e Geral ao longo do 1º ano do ensino médio**: uma proposta de inserção. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília (2015).

MARCHI, F.; LEITE, C. **Uma possibilidade de leitura no ensino de física**: O tema buracos negros através de um livro de divulgação científica. Atas do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/336899625>. Acesso em 14 de fevereiro de 2023.

MARTINS. **A definição dos problemas de pesquisa**. PDF, 1994. Disponível em: <http://www.fc.unesp.br>. Acesso em 14 de maio de 2023.

Mercado livre. **Morte no buraco negro**, de Tyson, Neil deGrasse. Editora Planeta do Brasil Ltda., capa mole em português, 2016. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/morte-no-buraco-negro-de-tyson-neil-degrasse-editora-planeta-do-brasil-ltda-capamole-em-portugues-2016>. Acesso em 22 jul. 2023

OLIVEIRA, Rondinely Gravitação. **Solução Schwarzschild e modelo Bumblebee**. 2014. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Física) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

PADMANABHAN, T. **Gravitation**: Foundations and Frontiers. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 700 p.

“Qual a importância da pesquisa científica? É importante promover o conhecimento científico?”. Núcleo do conhecimento. Disponível em:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/blog/pesquisa/promover-o-conhecimento>. Acesso em Outubro de 2022.

RT82. **História da descoberta dos buracos negros.** Disponível em:

<<https://rt82.ru/pt/fire-safety/seichas-chernaya-dyra-ch-rnaya-dyra-ozarenie-dzhona-michella/>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

ROCHA, Jorge V. **A ubiquidade do buraco negro na Física moderna.** Gazeta de Física. Artigo. Vol.40 - N. 2/ 3, p.1, 2020. Instituto Superior Técnico - IST, Universidade de Lisboa.

TYSON, Neil Degrasse. **Morte no buraco negro: e outros dilemas cósmicos** / Neil Degrasse Tyson; [tradução Rosaura Eichenberg]. - 1.ed. - São Paulo : Planeta, 2016.

TOSAR, B. **Assim se “fotografa” um buraco negro.** El País, 11 de abr.2019. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/04/10/ciencia/1554906802_123817.html. Acesso em: 22 de setembro de 2022.

Schierber, M. **What is Relativity.** Ilustração. 2 de julho de 2019. Disponível em: <https://www.livescience.com/32216-what-is-relativity.html>. Acesso em 15 de junho de 2023.

SM EDUCAÇÃO. **Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias evolução, tempo e espaço ensino médio** / Ana Fukui [et al.]: obra coletiva, editores responsáveis André Zamboni, Lia Monguilhott Bezerra - 1. ed. - São Paulo Edições SM, 2020.

SHUKMAN, David, 2016, p.17. **Buracos negros: palestras da BBC Reith Lectures** / Stephan Hawking ; tradução Cassio de Arante Leite . -1 . ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2017.