



Ações de divulgação da ciência tendo os buracos negros como eixo temático

Science dissemination actions with black holes as a thematic axis

Kauê Marques Barbosa¹, Ricardo Roberto Plaza Teixeira²

¹ Graduando em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Caraguatatuba, m.kaue@aluno.ifsp.edu.br.

² Doutor em Física pela USP e docente do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Caraguatatuba, rteixeira@ifsp.edu.br.

RESUMO

Este trabalho examina duas ações de divulgação da ciência utilizando os buracos negros como eixo temático. Essas atividades de caráter extensionista foram realizadas em duas escolas públicas estaduais situadas na cidade de Ubatuba, no litoral norte paulista, no mês de outubro de 2019. Seus objetivos principais foram despertar nos jovens que assistiram as apresentações o interesse por temas relacionados a áreas científicas, como é o caso da Astrofísica, bem como colaborar para desenvolver junto a estes jovens uma visão mais realista acerca de como a ciência produz conhecimentos, a partir dos métodos específicos para isto e de evidências experimentais que são usadas para corroborar teorias acerca de determinados fenômenos da natureza. Após a descrição da metodologia utilizada na organização e realização das duas atividades de divulgação científica em foco neste trabalho, os seus resultados são examinados e as concepções dos estudantes sobre os temas tratados são discutidas. De modo geral, os dados apontaram que os buracos negros, até pelo fato de fazerem parte de modo crescente da cultura popular, se mostram como um excelente eixo temático para aprofundar o estudo de conceitos científicos, sobretudo aqueles relacionados à física.

Palavras-chave: Astrofísica; Buraco Negro; Divulgação Científica; Ensino de Física.

ABSTRACT

This work examines two science dissemination actions using black holes as a thematic axis. These extensionist activities were carried out in two state public schools located in the city of Ubatuba, on the north coast of São Paulo, in October 2019. Their main objectives were to awaken in young people who attended the presentations the interest in topics related to scientific areas, as is the case of Astrophysics, to collaborate to develop with these young people a more realistic view of how science produces knowledge, from the specific methods for this, and the experimental evidence that is used to corroborate theories about certain natural phenomena. After describing the methodology used in the organization and implementation of the two scientific dissemination activities focused on in this work, their results are examined and the students' conceptions on the topics presented are discussed. In general, the data showed that black holes, even because they are increasingly part of popular culture, prove to be an excellent theme axis to deepen the study of scientific concepts, especially those related to physics.

Keywords: Astrophysics; Black Hole; Scientific Divulagation; Physics Teaching.

1. Introdução

O objetivo principal deste trabalho é investigar atividades de divulgação científica que tiveram o estudo dos buracos negros como eixo temático principal e examinar as ideias e concepções dos alunos que participaram destas ações, sobre os assuntos tratados. Além disso, é analisado o modo a divulgação científica relacionadas

aos buracos negros está relacionada à compreensão pública da ciência e pode promover o interesse e engajamento do público em torno de assuntos científicos.

Após a introdução, é feita a fundamentação teórica deste trabalho, a partir da literatura científica utilizada sobre o estudo de buracos negros. Na sequência é descrita a metodologia utilizada nas ações de divulgação científica implementadas, bem como são examinados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação de um questionário em uma das atividades. Ao término, são apresentadas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

2. Buracos negros

Na década de 1780, o inglês John Michell (1724-1793) propôs a existência de estrelas tão massivas que a luz não poderia escapar da atração gravitacional gerada por elas: deste modo elas seriam invisíveis para um observador, ou seja, seriam “*dark stars*”, estrelas negras (Machado; Tort, 2016). Aplicando um raciocínio puramente newtoniano, para calcular a velocidade de escape radial, v_{esc} , que um objeto de massa m sobre a superfície de um corpo esférico (um planeta ou uma estrela, por exemplo) de raio R e massa M tem que ter para conseguir “escapar” da ação do campo gravitacional deste corpo esférico, igualamos a energia cinética desse objeto de massa m com a energia potencial gravitacional associada a este objeto de massa m . Deste modo, obtemos que $v_{esc}^2 = 2GM/R$, sendo G a constante da Gravitação Universal. Reescrevendo esta equação, obtemos $R = 2GM/v_{esc}^2$ que fornece o raio R de um corpo de massa M para o qual a velocidade de escape é v_{esc} .

Como nem a luz escapa de um buraco negro, a velocidade de escape para estes objetos é maior que a velocidade da luz. Assim, se usarmos a velocidade da luz $c = 3 \cdot 10^8$ m/s como sendo a velocidade de escape, obtemos qual deve ser, no máximo, o raio R_s que deve ter um corpo de massa M para que a luz consiga escapar dele: $R_s = 2GM/c^2$. Esta também é a mesma solução obtida pela Relatividade para o raio do Horizonte de Eventos de um buraco negro. Como veremos abaixo, pela sua importância histórica, R_s é denominado de Raio de Schwarzschild.

Um buraco negro newtoniano não envolve nenhuma perturbação no espaço e no tempo. Entretanto tal tipo de perturbação é inevitável de acordo com a Teoria da Relatividade Geral que foi apresentada por Albert Einstein (1879-1955) no final de 1915, uma vez que as equações relativísticas do campo gravitacional conectam a densidade da matéria e a gravitação à geometria do espaço-tempo: portanto, um buraco negro relativístico é algo bem mais radical que a sua versão newtoniana (Norton, 2001). No início de 1916, o físico Karl Schwarzschild (1873-1916), publicou um artigo, em uma revista alemã, propondo uma solução exata das equações da Teoria da Relatividade Geral (Schwarzschild, 1999): esta – que foi denominada de solução de Schwarzschild – foi o ponto de partida teórico para a descoberta dos buracos negros e suas fascinantes propriedades físicas, cerca de meio século depois (Saa, 2016).

O Raio de Schwarzschild define o horizonte de eventos, uma superfície que delimita uma região na qual a gravidade é tão intensa que nem a luz consegue escapar dela, pelo fato de que a velocidade de escape nesta região é maior que a velocidade da luz. Esta superfície fechada pode ser caracterizada pelo fato de que é impossível uma comunicação do seu interior com o seu exterior: mas ela não é uma barreira sólida, até porque objetos – e até mesmo a luz – que estão fora podem entrar (Cardoso; Duque, 2021).

No transcorrer do século XX, as características teóricas dos buracos negros foram sendo deduzidas aos poucos e as evidências experimentais foram surgindo. Em termos teóricos, um artigo de 1939 de Julius Robert Oppenheimer (1904-1967) e Hartland

Sweet Snyder (1913-1962) forneceu uma solução exata das equações de Einstein que colapsava sob a ação da sua própria gravidade quando era comprimida para um raio menor que o seu raio de Schwarzschild.

Por sua vez, Robert Penrose (1931-), publicou um artigo em 1965 – cuja tradução para o português foi publicada por Julio Souza (2021) – que é considerado fundamental para a compreensão de buracos negros, pelo fato de abordar a matemática de singularidades físicas. O termo buraco negro foi cunhado em 1967 pelo astrofísico John Archibald Wheeler (1911-2008) e substituiu a expressão “estrela congelada” (“*frozen star*”) que era usada anteriormente e tinha sido proposta por Oppenheimer (Hawking, 2017).

Como são negros, os buracos negros são invisíveis; assim, eles só podem ser observados indiretamente por meio da sua característica mais forte, seu gigantesco campo gravitacional que influencia na órbita da poeira e de estrelas vizinhas que emitem radiação que pode ser observada por nossos telescópios (Matsas, 2004). Quando uma nuvem de gás é atraída por um buraco negro, as partes da nuvem que estão mais perto dele vão orbitar mais rápido que as partes mais distantes. Assim, as camadas da nuvem espiralando mais perto do horizonte de eventos esquentam, pela fricção interna, a temperaturas maiores que qualquer estrela conhecida: o gás torna-se uma fonte radiação ultravioleta e de raios-X (Tyson, 2016). Hoje, não só sabemos como os buracos negros podem se formar, mas também como calcular o comportamento de partículas e campos perto ou dentro de um buraco negro (Hoof, 2009).

O primeiro buraco negro identificado foi Cisne X-1 (Cygnus X-1), um sistema binário existente em nossa galáxia que é uma fonte de raio-X e que foi descoberto em 1964 (Tillman; Dobrijevic; Biggs, 2022). Posteriormente, no início dos anos 1970, foi determinado que os raios-X vinham de um objeto escuro que seria um companheiro da estrela brilhante situada naquela posição do espaço; foi sugerido então que os raios-X detectados eram resultado de material estelar sendo retirado da estrela brilhante e sugado pelo companheiro dela que seria um buraco negro (Cardoso; Duque, 2021).

A partir dos anos 1980 começaram a surgir evidências de que a região central da nossa galáxia, a Via Láctea, denominada Sagitário A*, seria um buraco negro supermassivo, com massa da ordem de milhões de vezes a massa do Sol: este possivelmente é o mais massivo buraco negro existente na nossa galáxia, segundo Matsas e Vanzella (2003). Um exemplo destas evidências está nas características dos movimentos das órbitas keplerianas de estrelas situadas nas proximidades de Sagitário A*.

O Prêmio Nobel de Física de 2020 revelou a importância que o estudo dos buracos negros tem atualmente, em particular na área da Astrofísica. A primeira metade deste Prêmio Nobel de Física de 2020 foi concedida para Roger Penrose pelo seu trabalho sobre buracos negros e as suas relações com a Teoria da Relatividade; a segunda metade foi dividida entre Andrea Ghez (1965-) e Reinhard Genzel (1952-) que lideraram grupos de pesquisa independentes que realizaram observações evidenciando a existência de um buraco negro supermassivo no centro de nossa galáxia (Bonder; Juárez-Aubry, 2020).

3. Procedimentos metodológicos

Esse é um trabalho de pesquisa que usou como método a observação participativa (Thiollent, 2000) e envolve o estudo descritivo de duas ações presenciais de divulgação científica tendo a temática dos buracos negros como eixo condutor principal, que os autores deste artigo planejaram e realizaram para alunos do ensino médio de duas diferentes instituições de ensino estaduais de Ubatuba, município situado no litoral norte

paulista, no mês de outubro de 2019. O seu intuito principal é relatar e refletir tanto sobre as condições em que ocorreram essas ações de popularização da ciência, quanto acerca das concepções dos alunos presentes nelas e dos seus impactos. As duas atividades analisadas se caracterizaram por serem, ao mesmo tempo, de ensino, de extensão e de pesquisa. Os autores deste trabalho pertencem à comunidade acadêmica do campus de Caraguatatuba do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), o primeiro na condição de estudante e o segundo na condição de docente da instituição.

As atividades foram planejadas com o propósito tanto de despertar o interesse dos alunos pelos conceitos científicos envolvidos no estudo de buracos negros, quanto de aprofundar a visão acerca de como a ciência foi e é construída ao longo dos tempos, em particular destacando o aspecto histórico da evolução da ciência, bem como a necessidade da existência de evidências experimentais para corroborar as explicações teóricas para os fenômenos observados.

Com o intuito de investigar as possibilidades didáticas do trabalho educacional com temas relacionados ao estudo de buracos negros, foi estruturada uma apresentação de caráter audiovisual, com textos e imagens distribuídos ao longo de 20 slides.

Dentre os principais tópicos trabalhados nesta apresentação estiveram: a velocidade da luz, a concepção de tempo de acordo com a Teoria da Relatividade, a ideia de buraco negro construída a partir da noção de velocidade de escape, o conceito de horizonte de eventos de um buraco negro, o processo de “espaguetificação”, o trabalho computacional usado para elaborar a primeira foto de um buraco negro em 2019, os dois principais tipos de buracos negros existentes (estelares e supermassivos) e o modo como um buraco negro surge a partir do colapso gravitacional de uma estrela suficientemente massiva. Foram também abordados conhecimentos sobre o buraco negro supermassivo existente no centro da Via Láctea (Sagitário A*), bem como sobre a importância de mulheres cientistas na elaboração da primeira imagem produzida de um buraco negro, tais como a computóloga estadunidense Katie Bouman e a astrofísica brasileira Lia Medeiros.

Ao final, de modo a atrair mais a atenção dos alunos, foram trabalhadas as características físicas hipotéticas associadas a habilidades do “Flash”, o nome de um super-herói fictício da DC Comics, muito conhecido por jovens aficionados por quadrinhos; neste caso, em particular foram discutidos conceitos relacionados à Teoria da relatividade.

Três vídeos curtos foram exibidos durante as apresentações. Em primeiro lugar foi exibido o vídeo “Os poderes do Flash”¹ produzido pelo canal “Nerdologia” do YouTube e que conta com uma duração de aproximadamente 6 minutos. Este vídeo foi selecionado dentre outros motivos pelo fato de ser comum que vídeos disponíveis em canais voltados para a divulgação científica como este se utilizem de narrativas estratégicas para impelir a construção de sentido conjuntamente com o público de modo a acentuar o gosto pela ciência, um dos objetivos da atividade (Reale, 2018). Para complementar a explicação dada no vídeo anterior, foi também exibido o vídeo “Liga Da Justiça Sem Limites: Flash e seu soco de massa infinita”² que conta com uma duração de aproximadamente 4 minutos. Um terceiro vídeo que foi exibido, intitulado “*Black Hole Caught Killing Star (And Eating It For Lunch)*”³ – em uma tradução livre para o português “Buraco negro captura estrela assassina (e a come no almoço) – tem cerca de 1 minuto de duração. Adicionalmente, um outro vídeo que, apesar de não ter sido exibido nas apresentações, ajudou a estruturar alguns slides, fornecendo ideias para

¹ Disponível em: <<https://youtu.be/Gg4b113q8ic>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

² Disponível em: <<https://youtu.be/3OfpyC2et9w>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

³ Disponível em: <<https://youtu.be/O3Z5AS3TTS4>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

abordar certos temas, foi “Buraco Negro” do canal “Nerdologia”⁴ do YouTube e que conta com quase 7 minutos de duração.

Esta apresentação de divulgação científica sobre buracos negros foi realizada em dois momentos diferentes, no mês de outubro de 2019, para alunos de duas escolas estaduais de ensino médio localizadas no município de Ubatuba, situado no litoral norte do estado de São Paulo. Estas instituições de ensino serão denominadas de escola A e escola B, para as finalidades deste trabalho. Em cada um dos dois casos, as apresentações examinadas neste trabalho duraram cerca de 30 minutos e sucederam uma outra apresentação, durando também cerca de 30 minutos, realizada por um outro estudante universitário do IFSP-Caraguatatuba, sobre física espacial e a ciência envolvendo os satélites artificiais. Nas atividades realizadas em ambas as escolas, o número de alunos participantes esteve entre 30 e 40 alunos: eles foram selecionados pelos seus professores e pelos gestores das escolas, a partir dos maiores interesses que manifestassem por temáticas de caráter científico, o que precisa também ser levado em consideração na análise dos resultados.

A primeira apresentação, nas instalações da escola A, aconteceu pela manhã, entre 10h e meio-dia, do dia 8 de outubro de 2019, uma terça-feira, junto a 30 alunos de ensino médio de uma instituição estadual de ensino localizada em um bairro afastado do centro do município de Ubatuba. Esta apresentação ocorreu em uma sala de aula regular da escola (que tinha equipamentos para a projeção de imagens e vídeos) e contou com o apoio da coordenadora de ensino médio da escola e de um professor de matemática.

A segunda apresentação, nas instalações da escola B, aconteceu também pela manhã, entre 10h e meio-dia, do dia 31 de outubro de 2019, uma quinta-feira, para cerca de 40 estudantes de ensino médio de uma instituição de ensino estadual localizada próxima ao centro da cidade de Ubatuba. Esta apresentação ocorreu em um auditório da escola dotado de equipamentos para a projeção de imagens e vídeos; a atividade contou com o apoio de um professor mediador e de uma professora de geografia da escola. O fato de o primeiro autor deste trabalho, no passado, ter estudado no ensino médio desta escola B, colaborou para o fornecimento de contatos com seus gestores e professores que viabilizaram a realização desta segunda atividade; tanto é assim que na recepção, ao chegarem nesta escola, os dois autores deste trabalho foram recebidos efusivamente pela sua diretora e pelo seu vice-diretor.

Em ambas as escolas, os alunos que assistiram às apresentações foram selecionados de diferentes classes da instituição tendo como um dos critérios a existência de um maior interesse manifestado por temas científicos. Assim, as atividades de divulgação científica não substituíram a aula de alguma disciplina de alguma das classes das escolas visitadas, mas tiveram um caráter extracurricular para os alunos que participaram delas.

As duas escolas contavam com professores ou gestores (coordenadores e diretores) que já tinham estabelecido uma relação de interação prévia com o IFSP-Caraguatatuba, inclusive com os autores deste artigo. Uma das razões que colaborou para isso ocorrer é que o campus de Caraguatatuba do IFSP conta com dois cursos de formação de professores, o curso de Licenciatura em Matemática no período matutino (funcionando desde 2011) e o curso de Licenciatura em Física no período noturno (funcionando desde 2017), o que permitiu estreitar as relações com as escolas da região. Isto facilitou o contato inicial com a equipe docente de cada uma das duas escolas, visando agendar uma data e horário adequados para a realização das atividades de divulgação da ciência planejadas. Ambos os autores deste artigo estiveram presentes nas

⁴ Disponível em: <<https://youtu.be/ThG5RHBR7dA>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

duas apresentações realizadas e, portanto, se deslocaram até as respectivas instituições escolares, para realizar as atividades.

Nos dias posteriores a cada uma das duas apresentações, um artigo curto e descritivo foi publicado no site do IFSP-Caraguatatuba⁵, informando acerca da ação que foi realizada, dos temas tratados e dos desdobramentos destas ações, para publicizar ao máximo as atividades de divulgação científica realizadas e ressaltar a sua importância para as comunidades interna e externa ao IFSP.

O trabalho realizado nas ações envolvia dois momentos diferentes, que se interligavam ao longo da atividade para atingir os objetivos educacionais propostos: o momento do fascínio e o momento da aprendizagem. A motivação e o engajamento dos alunos no processo de aprendizagem foram considerados elementos fundamentais para despertar os interesses deles pelos aspectos científicos envolvidos nas apresentações. Entretanto, durante as atividades, deixou-se claro que o encantamento por um determinado tema, pode ser algo momentâneo se não for acompanhado de esforço, estudo e dedicação: o emprego das habilidades cognitivas para aprender acerca da ciência exige o exercício da curiosidade epistemológica e não apenas de interesses episódicos e fugazes (Freire, 1995). Metodologicamente, consideramos essencial a etapa de encantamento pela ciência de modo a motivar os alunos para que possam se sentir incentivados para o processo de aprendizagem (Abed, 2016), de modo a perseverarem e adquirirem a resiliência que é necessária para compreender conceitos científicos complexos e continuar a se aprofundar nas suas áreas de conhecimento no futuro, após as atividades terem ocorrido.

4. Resultados e discussão

Na escola A, após a apresentação ser realizada, os N=30 alunos presentes responderam a algumas perguntas de um curto questionário em papel. Isso não ocorreu na apresentação da escola B que foi apenas visitada sem a aplicação de questionários. Os alunos não precisaram se identificar nos questionários respondidos. Além de duas questões iniciais sobre idade e gênero para identificar o perfil dos respondentes, este questionário contou com 10 perguntas que foram estruturadas para conhecer as concepções dos alunos acerca dos temas tratados e as suas perspectivas sobre as áreas científicas envolvidas: sobre estes assuntos foram oito perguntas fechadas (com o aluno assinalando uma das alternativas previamente fornecidas que estivesse mais de acordo com a perspectiva dele) e, ao final, duas perguntas abertas (com o aluno escrevendo livremente o texto da resposta). A seguir serão examinadas e analisadas as distribuições das respostas dadas pelos estudantes às perguntas deste questionário, por porcentagens aproximadas até a unidade.

No que diz respeito à idade, a quase totalidade dos alunos presentes (com apenas uma exceção) estava na faixa etária entre 15 e 17 anos, idade típica de alunos de ensino médio (Tabela 1).

Tabela 1: Distribuição das porcentagens por idade (em anos) dos alunos que participaram da atividade (N=30).

IDADE (anos)	PORCENTAGENS
15	7 %
16	50 %
17	40 %
19	3 %

⁵ Disponível em: <<https://ifspcaraguatatuba.edu.br/>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

Fonte: Autores (2023).

Além disso, a maioria (60%) dos alunos presentes era do gênero feminino, contra 40% do gênero masculino (Tabela 2).

Tabela 2: Distribuição das porcentagens por gênero dos alunos que participaram da atividade (N=30).

GÊNERO	PORCENTAGENS
Feminino	60 %
Masculino	40 %

Fonte: Autores (2023).

A primeira pergunta fechada do questionário sobre os temas tratados na apresentação foi: “Qual é o grau do seu interesse por Astronomia?” Metade dos alunos (50%) respondeu que tinha um interesse razoável por Astronomia (Figura 1). Estudos, realizados em diversos países, evidenciaram a existência de um considerável interesse de estudantes por temas científicos temas relacionados à astronomia em geral (incluindo a astrofísica e a cosmologia), independentemente do sexo, o que, por sua vez, aponta para o potencial didático de iniciativas para estimular o interesse por física e matemática envolvendo tópicos estudados pela astronomia (Fróes, 2014).

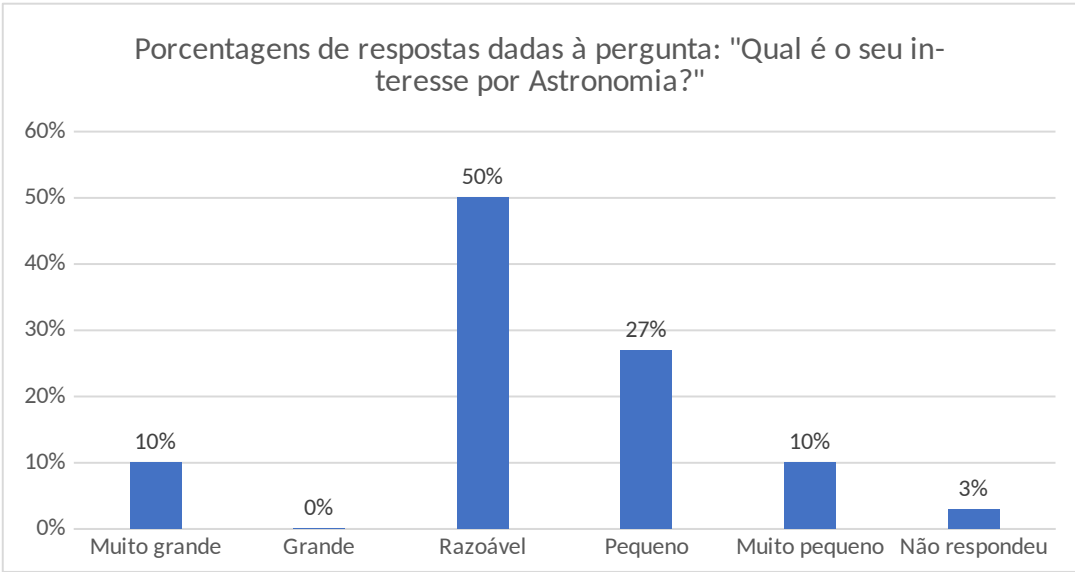


Figura 1: Gráfico com as porcentagens das respostas para a pergunta: “Qual é o grau do seu interesse por Astronomia?” (N=30). Fonte: Autores (2023).

A segunda pergunta do questionário foi: “Algum professor que você teve ou tem já trabalhou com o assunto ‘Buraco Negro’ em sala de aula?” A maioria dos alunos (70%) respondeu negativamente. Dentre os 30% (9 alunos) que responderam positivamente, a disciplina mais citada foi a Física (por 5 alunos), seguido pela disciplina de Ciências (por 3 alunos), pela disciplina de História (por 1 aluno) e pela disciplina de Química (por 1 aluno); em uma das respostas, um aluno citou duas disciplinas (Física e Química). É possível trabalhar conceitos básicos de Física, especialmente aqueles associados à Teoria da Gravitação Universal, por meio do estudo de buracos negros (Oliveira, 2017) e de suas relações com a massa e a gravidade (Ferreira *et al.*, 2021); neste caso, é importante considerar que os alunos possuem representações sociais sobre a temática dos buracos negros, alicerçadas tanto em

conhecimentos provenientes de espaços formais de educação, quanto naqueles obtidos de outros modos, e, portanto, mesclando elementos do senso comum com elementos do conhecimento científico (Barbosa; Aquino; Calheiro, 2020).

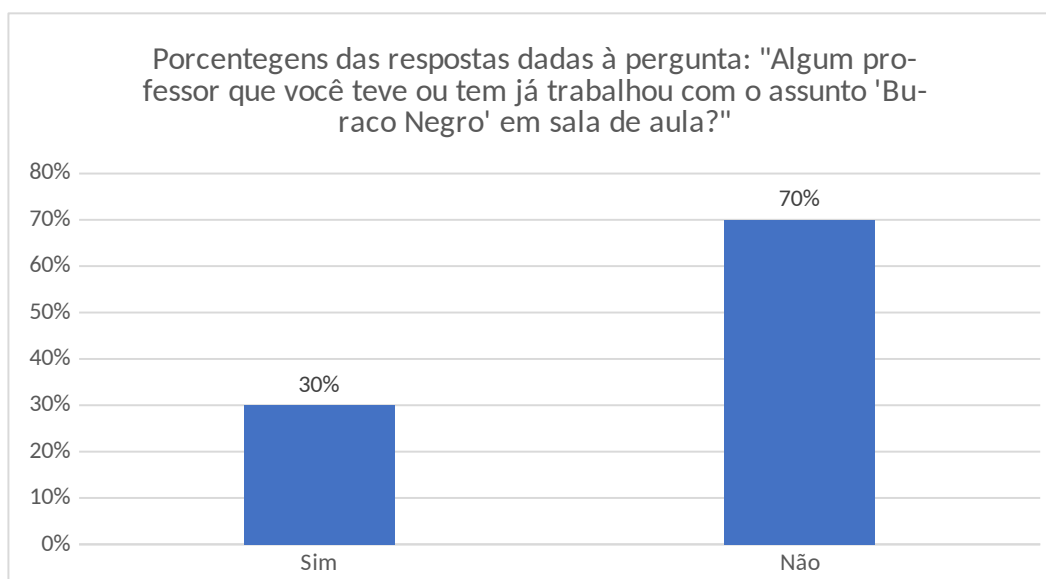


Figura 2: Gráfico com as porcentagens das respostas para a pergunta: “Algum professor que você teve ou tem já trabalhou com o assunto ‘Buraco Negro’ em sala de aula?” (N=30). Fonte: Autores (2023).

A terceira pergunta do questionário foi: “Por qual meio você teve contato pela primeira vez com o tema ‘buraco negro’?” Neste caso (Figura 3), o meio mais citado foi a onipresente internet (63%), seguido, de modo distante, pela TV (27%). Uma pesquisa publicada em 2007 já apontava, naquela época, para a relevância da internet como meio principal pelo qual os alunos obtêm informações sobre os assuntos de caráter científico de seu interesse (Araújo *et al.*, 2007), algo que se ampliou consideravelmente desde então pela crescente facilidade de conexão.

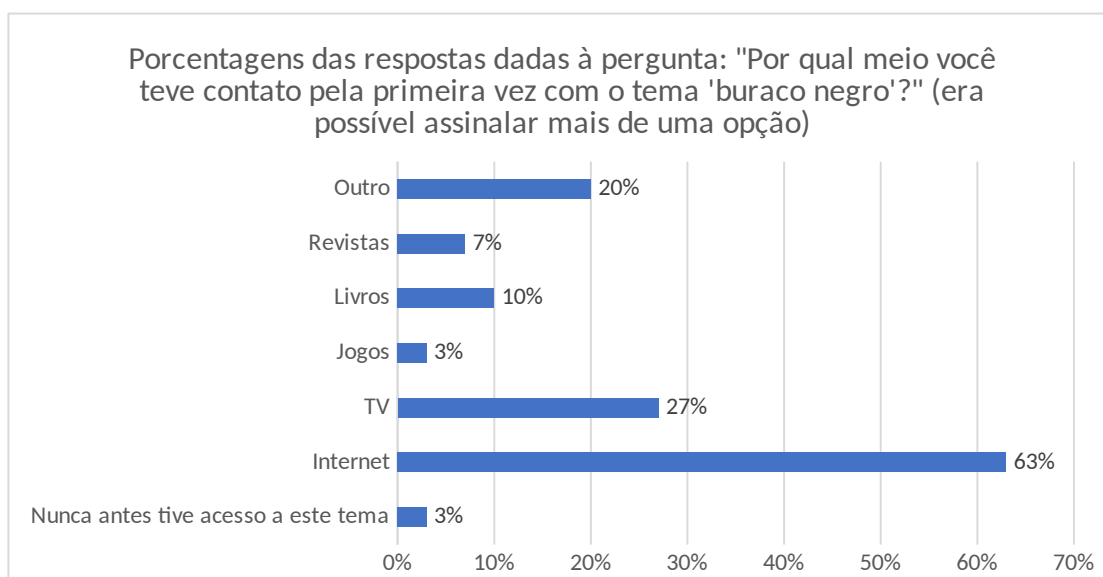


Figura 3: Gráfico com as porcentagens das respostas para a pergunta: “Por qual meio você teve contato pela primeira vez com o tema ‘buraco negro’?” (N=30). Fonte: Autores (2023).

A quarta pergunta do questionário foi: “Qual é o grau do seu interesse pelos super-heróis das histórias em quadrinhos?” Para esta pergunta (Figura 4), 37% dos

alunos afirmaram que têm um interesse grande ou muito grande por super-heróis, enquanto 40% têm um interesse razoável. Dentre as 18 alunas (gênero feminino) que participaram da atividade, o perfil das respostas não foi muito diferente da média geral: 6 delas (33%) afirmaram ter um interesse grande ou muito grande em super-heróis, enquanto 8 alunas (44%) afirmaram ter um interesse razoável por super-heróis. Portanto, devido à força adquirida por objetos lúdicos da cultura popular, como são os quadrinhos, eles podem ser usados tanto para promover uma melhor compreensão de tópicos científicos abordados na educação básica, quanto na divulgação científica realizada para o público geral (Souza Filho; Ouriques, 2017).

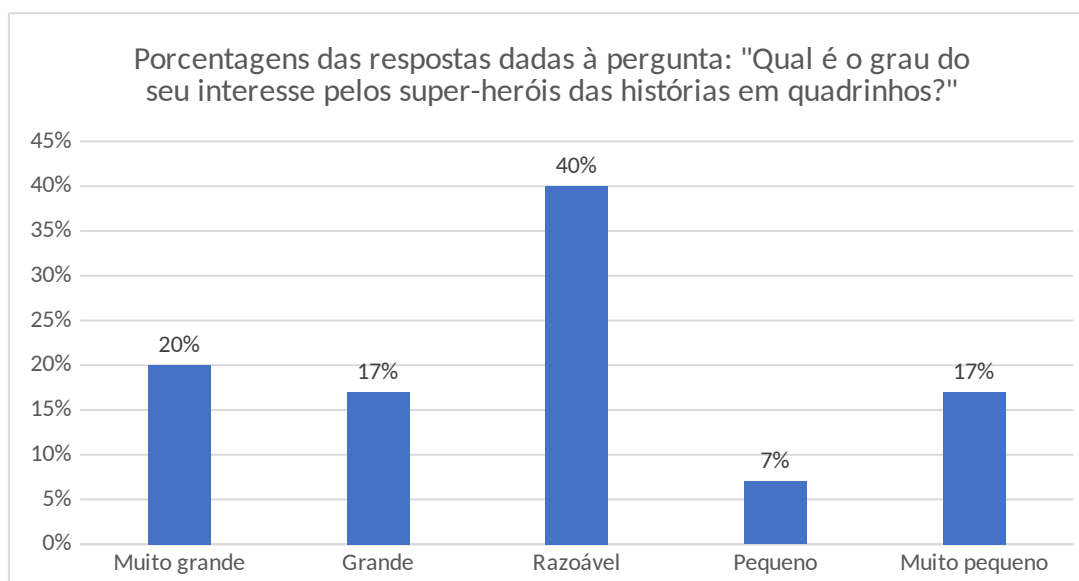


Figura 4: Gráfico com as porcentagens das respostas para a pergunta: “Qual é o grau do seu interesse pelos super-heróis das histórias em quadrinhos?” (N=30). Fonte: Autores (2023).

A quinta pergunta do questionário foi: “Você acha que no final da vida do nosso Sol, ele vai se transformar em um buraco negro?” Esta foi uma questão relacionada a um tema tratado durante a apresentação que destacou que estrelas com massa insuficiente, como é o caso do Sol, não possuem gravidade para colapsar sobre si mesmas, transformando-se em buracos negros, quando acaba o combustível nuclear (Maeder, 1992; Farr *et al.*, 2011): o menor buraco negro já detectado tem massa da ordem de 3,3 massas solares (Williams, 2019). Dentre as respostas dadas pelos alunos, 50% responderam corretamente que o Sol não tem massa suficiente para se transformar em um buraco negro quando acabar o seu combustível nuclear (Figura 5).

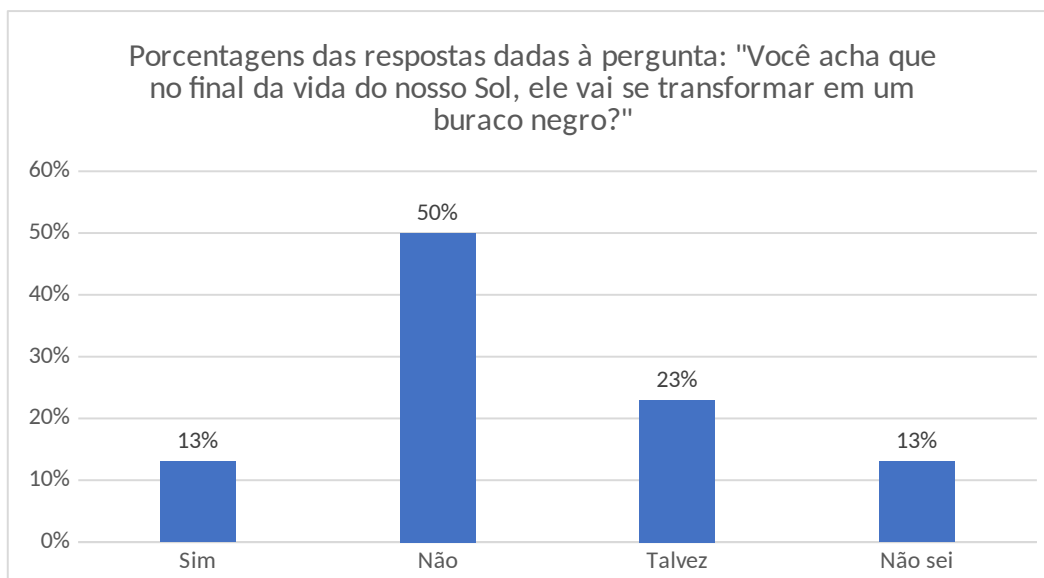


Figura 5: Gráfico com as porcentagens das respostas para a pergunta: “Você acha que no final da vida do nosso Sol, ele vai se transformar em um buraco negro?” (N=30). Fonte: Autores (2023).

A sexta pergunta do questionário foi: “Você sabe onde está o buraco negro supermassivo mais próximo da Terra?” Esta também foi uma questão relacionada a um assunto tratado durante a apresentação que explicou que buracos negros supermassivos (com massas de milhões ou mesmo bilhões de massas solares) estão localizados no centro das galáxias, como acontece com o buraco negro Sagitário A* localizado no centro da nossa galáxia, a Via Láctea, que é o buraco negro supermassivo mais próximo da Terra (Lea, 2022). Dentre as respostas, 40% dos alunos responderam que sabiam onde estava o buraco negro supermassivo mais próximo da Terra (Figura 6). Neste caso de resposta afirmativa foi solicitado para que os alunos escrevessem onde estava localizado o buraco negro supermassivo mais perto de nós; as respostas foram: “no centro da Galáxia” (5 respostas), “no centro da Via Láctea” (3 respostas), “na Via Láctea” (3 respostas) e “no centro da nossa Galáxia” (1 resposta).

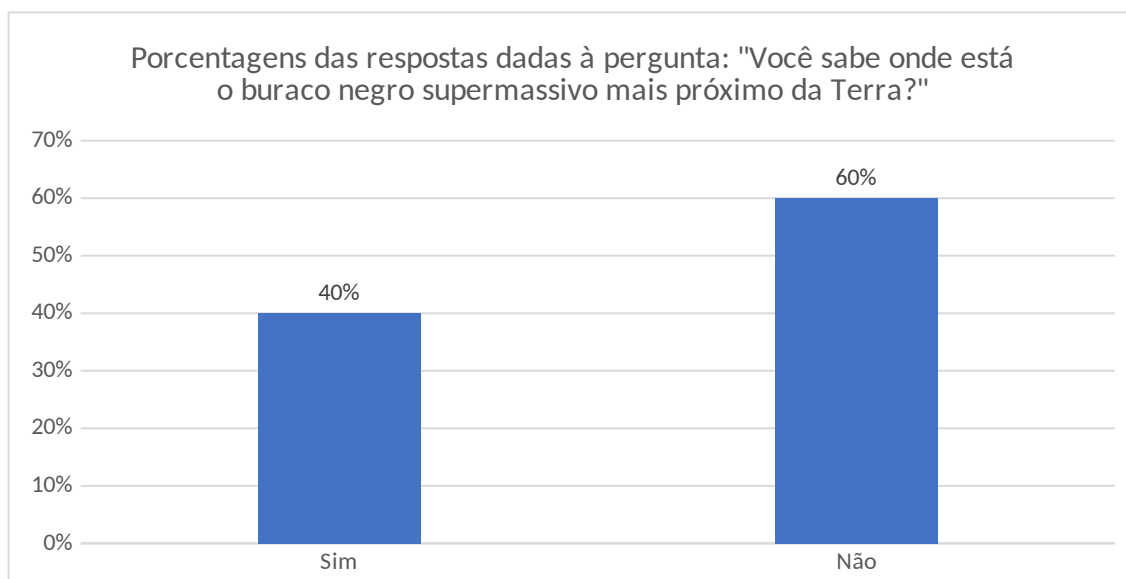


Figura 6: Gráfico com as porcentagens das respostas para a pergunta: “Você sabe onde está o buraco negro supermassivo mais próximo da Terra?” (N=30). Fonte: Autores (2023).

A sétima pergunta do questionário foi: “Qual é a chance de no futuro você seguir uma carreira profissional em alguma área científica?” Para esta pergunta, nenhum aluno respondeu que essa chance era muito provável, enquanto 33% responderam que isso era razoavelmente provável e 66% responderam que isso era pouco ou nada provável (Figura 7). Estes dados estão em sintonia com pesquisas que apontam que o jovem brasileiro, apesar de possuir interesse pela ciência escolar, apresenta pouco interesse em seguir uma carreira científica no seu futuro profissional; no que diz respeito a um emprego na área tecnológica, observa-se um interesse maior, particularmente dos meninos (Gouw; Mota; Bizzo, 2016). A perda de interesse pela ciência, em relação à infância, por parte de muitos jovens na adolescência, devido ao tédio e a experiências escolares fracassadas com disciplinas científicas, é um fator que pode desestimulá-los a pensarem em seguir carreiras científicas em seu futuro profissional (Alonso; Mas, 2008).

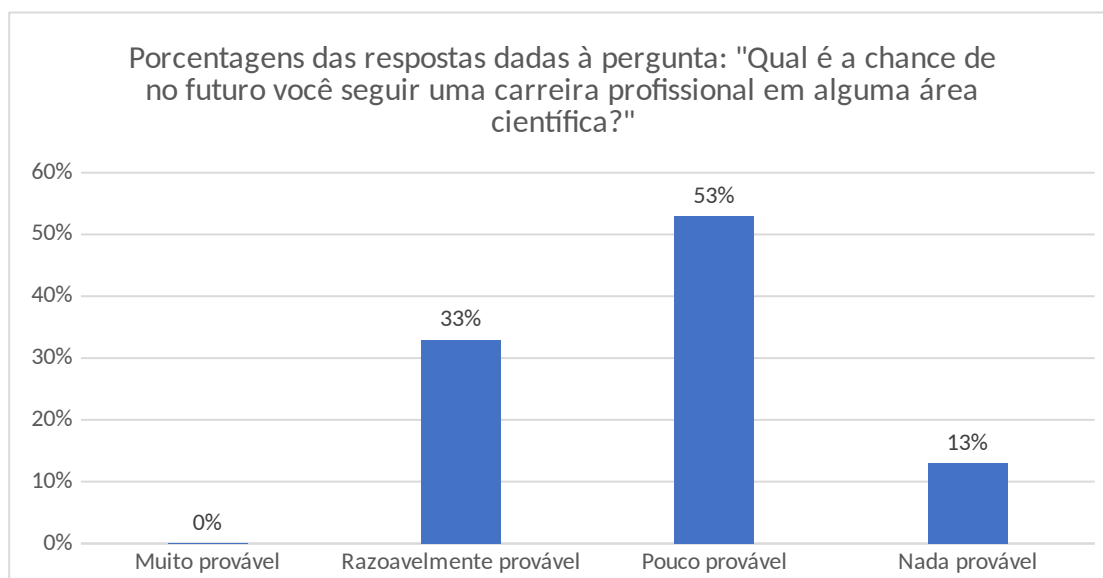


Figura 7: Gráfico com as porcentagens das respostas para a pergunta: “Qual é a chance de no futuro você seguir uma carreira profissional em alguma área científica?” (N=30). Fonte: Autores (2023).

A oitava pergunta do questionário foi: “Qual o seu grau de concordância com a afirmação: ‘É importante criar incentivos e políticas públicas para que mais mulheres procurem as áreas das ciências exatas e tecnológicas, em termos profissionais?’” Para esta pergunta, a maioria (80%) respondeu que é importante criar incentivos e políticas públicas para que mais mulheres procurem as áreas das ciências exatas e tecnológicas (Figura 8). Incluir mais mulheres nas ciências exatas significa proporcionar maior igualdade de oportunidades nessas áreas do conhecimento, o que tem também o potencial de produzir um corpo de cientistas mais competitivo de modo global (Brito; Pavani; Lima Jr, 2015). Além disso, tendo em vista o fato de que, de modo geral, a sociedade atribui à mulher a responsabilidade pela manutenção da vida e do bem-estar da família, as mulheres tendem a desenvolver perspectivas muitas vezes distintas daquelas consideradas tipicamente masculinas: incluir mais mulheres na ciência, portanto, implica também na produção de uma ciência mais diversificada e associada a experiências de vida que historicamente estiveram excluídas da produção científica e tecnológica (Gilligan, 1993), o que pode produzir uma ciência mais conectada às necessidades da sociedade como um todo e não só de parte dela.

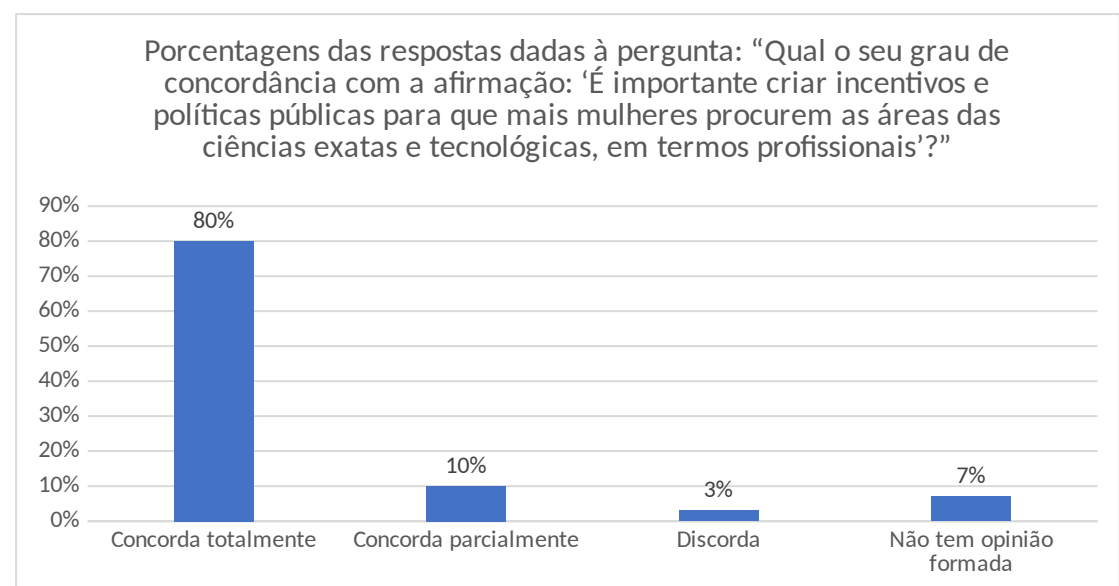


Figura 8: Gráfico com as porcentagens das respostas para a pergunta: “Qual o seu grau de concordância com a afirmação: ‘É importante criar incentivos e políticas públicas para que mais mulheres procurem as áreas das ciências exatas e tecnológicas, em termos profissionais?’” (N=30). Fonte: Autores (2023).

A nona pergunta (aberta) do questionário foi: “Por qual motivo a luz não consegue escapar de um buraco negro?” Para esta pergunta, oito alunos (27%) não conseguiram escrever uma resposta. O Quadro 1 mostra as respostas escritas pelos alunos distribuídas em algumas categorias de proximidade conceitual e com algumas palavras sendo destacadas em negrito. Algumas ideias são recorrentes, nas respostas, como pode ser exemplificado a seguir: porque o buraco negro suga ou absorve a luz; devido à densidade ou à força ou à gravidade do buraco negro; o que entra em um buraco negro não sai / não volta; porque a velocidade da luz é inferior à do buraco negro; devido à atmosfera; devido à alta velocidade da luz. Três estudantes responderam que a luz não conseguia escapar de um buraco negro, porque a velocidade dela era inferior à do buraco negro: possivelmente essa foi a forma como expressaram, com as suas palavras, o fato de que para um buraco negro, a velocidade de escape no interior do seu horizonte de eventos é maior que a velocidade da luz (Dunning-Davies, 2005).

Quadro 1: Respostas dadas à pergunta “Por qual motivo a luz não consegue escapar de um buraco negro?”

por conta que o buraco negro tem um tipo de imã que suga tudo tem uma "camada" de gravidade que suga a luz que passa para o buraco negro porque é sugada
pois ele absorve toda a luz por que ele absorve a luz por conta de que um buraco negro absorve a luz e é supermassivo
por que o buraco negro é denso pela sua densidade por motivo da densidade do buraco negro por causa da densidade
pois o buraco negro é mais forte e tem mais massa pelo motivo de ser mais forte que a luz porque o buraco negro é mais forte contra a luz pelo motivo do buraco negro ser mais forte que a luz
pela sua gravidade

pois o buraco negro puxa todo que está próximo e assim ele não sai
pois ao entrar ela não tem volta
por conta da atmosfera
por causa da alta velocidade em que ela é sujeita ao se aproximar
porque a velocidade dela é inferior à do buraco negro
pois a velocidade é inferior à do buraco negro
porque sua velocidade é inferior à do buraco negro

Fonte: Autores (2023).

A décima pergunta (também aberta) do questionário foi: “O que acontece quando uma nave que se aproxima de um buraco negro ultrapassa o seu horizonte de eventos?” Para esta pergunta, cinco alunos (17%) não conseguiram escrever uma resposta. O Quadro 2 mostra as respostas escritas pelos alunos distribuídas em algumas categorias de proximidade conceitual com algumas palavras sendo destacadas em negrito. Novamente as respostas escritas pelos alunos foram divididas em categorias, nas quais algumas palavras aparecem sistematicamente, como os verbos sugar, puxar, explodir e se desfazer, bem como os substantivos energia e espagete / espaguetificação; em algumas situações mais que um destes termos aparecem juntos em uma resposta. De fato, do ponto de vista de um observador distante de um buraco negro, toda matéria em movimento de queda para dentro dele será eventualmente paralisado e “congelado” em uma região ligeiramente para fora do horizonte de eventos: neste cenário, como observadores distantes, nunca poderíamos observar a matéria atravessando o horizonte de eventos e caindo dentro de um buraco negro devido à dilatação do tempo relativística perto de um campo gravitacional tão intenso quanto o de um buraco negro (Zhang; Liu, 2008). Em particular, os alunos se interessaram pelo processo intitulado informalmente de “espaguetificação” de uma pessoa caindo na vertical em um buraco negro, devido ao expressivo gradiente entre as forças gravitacionais atuando sobre a sua cabeça e os seus pés (Machado; Tort; Zarro, 2020).

Quadro 2: Respostas dadas à pergunta “O que acontece quando uma nave que se aproxima de um buraco negro ultrapassa o seu horizonte de eventos?”

ela é sugada por uma energia
ela seria sugada e se desintegraria, mas é impossível uma nave se aproximar de um buraco negro
ela é sugada para o centro
ela é sugada e distorcida até ser totalmente consumida
ela se destrói primeiro e depois é sugada
ela se destrói e após é sugada
a nave é automaticamente puxada para o buraco
é puxada para dentro
ela começa a ser puxada , atingindo velocidade mínima e sendo partido em vários pedaços
ela vira energia , luz
se transforma em energia
é transformado em energia
ela não sai mais, ela se transforma em energia
se transforma em energia
ela se transforma em energia e a partir do horizonte de eventos a energia é sugada
não teria mais volta, ela passaria pela espaguetificação e iria provavelmente explodir
é sugada e vira "espagete"

<p>ela é sugada e transformado em "espaguete" é sugada e vira um "espaguete", pois se torna energia é sugada e se transforma em um "espaguete" ela explode</p>
<p>ela se desfaz de pouquinho em pouquinho vai se desfazendo ela vai se desfazendo</p>
<p>a nave ganha muita velocidade, assim se auto absorve</p>

Fonte: Autores (2023).

As respostas dadas para as duas perguntas abertas (nona e décima) revelam algumas das formas pelas quais os alunos tentaram se apropriar dos conhecimentos acerca de buracos negros que foram trabalhados durante as apresentações.

5. Considerações finais

O conceito de buraco negro tem tido um crescente apelo popular, sobretudo entre jovens, em particular devido ao modo como ele parece em livros e filmes de Ficção Científica, por exemplo. Assim, o uso de trechos de uma história de ficção científica pode colaborar para a aprendizagem de determinados conceitos científicos de maior complexidade para a sua compreensão; alguns comentários feitos por alunos durante as atividades apontam neste sentido. Por exemplo, para discutir a dilatação do tempo relativística perto de um buraco negro, é possível usar trechos do romance "*A World out of Time*", escrito por Larry Niven (2015), escrito originalmente em 1976, em que o protagonista, após contornar um enorme buraco negro (onde o tempo desacelera), encontra-se três milhões de anos no futuro (Fraknoi, 2002). Algo similar acontece também em um trecho do filme "Interestelar" (Thorne, 2014; Silva, 2020).

As apresentações realizadas – que usaram de diversas imagens para poder tornar compreensíveis algumas ideias mais abstratas da área de astrofísica – permitiram perceber que existem diversas possibilidades de abordagens do conceito de buraco negro úteis para a aprendizagem da física envolvida. As respostas dadas às perguntas dos questionários mostraram que para existir um maior aprofundamento acerca do estudo dos conceitos físicos envolvidos na descrição fenomenológica de buracos negros, é necessário um tempo maior que os 30 minutos que duraram as apresentações efetuadas; entretanto mesmo em um tempo curto como este, foi possível realizar uma boa introdução a respeito do tema de modo a motivar muitos estudantes para que se dedicassem, posteriormente, a estudar mais sobre buracos negros.

Agradecimentos

Agradecemos ao IFSP pelo fomento concedido para a realização deste trabalho.

Referências

- ABED, Anita Lilian Zuppo. O desenvolvimento das habilidades socioemocionais como caminho para a aprendizagem e o sucesso escolar de alunos da educação básica. **Construção psicopedagógica**, v. 24, n. 25, p. 8-27, 2016. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/cp/v24n25/02.pdf>. Acessos em: 29 mai. 2023.
- ALONSO, Ángel Vázquez; MAS, María Antonia Manassero. La Vocación Científica y Tecnológica: Predictores Actitudinales Significativos. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 6, n. 2, p. 213-231, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/28319825_La_vocacion_cientifica_y_tecnologica_predictores_actitudinales_significativos. Acesso em: 28 mai. 2023.

- ARAÚJO, Elaine Sandra Nabuco de *et al.* Os alunos de ensino médio se interessam por assuntos científicos e tecnológicos? **Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2007. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/vienpec/CR2/p883.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- BARBOSA, Patrynie Garcia; AQUINO, Arthur Marques; CALHEIRO, Lisiane Barcellos. Representações sociais de alunos da educação básica sobre buracos negros. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 32, p. 135-142, 2020. Disponível em: <<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/30975>>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- BONDER, Yuri; JUÁREZ-AUBRY, Benito A. **Black Holes and the 2020 Nobel Prize in Physics**. ArXiv, 2020. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2011.15123>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- BRITO, Carolina; PAVANI, Daniela; LIMA JR, Paulo. Meninas na Ciência: atraindo jovens mulheres para carreiras de Ciência e Tecnologia. **Revista Gênero**, v. 16, n. 1, p. 33-50, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.uff.br/revistagenero/article/view/31223/18312>>. Acesso em: 26 mai. 2023.
- CARDOSO, Vitor; DUQUE, Francisco. Buracos negros: a derradeira fronteira. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 2, p. 16-41, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/astronomia/article/view/35943/23726>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- DUNNING-DAVIES, J. **Questions Concerning Schwarzschild's Solution of Einstein's Equations**. ArXiv, 2005. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/physics/papers/0503/0503095.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- FARR, Will M. *et al.* The mass distribution of stellar-mass black holes. **The Astrophysical Journal**, v. 741, 103, 2011. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-637X/741/2/103/pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- FERREIRA, Marcello *et al.* Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20210157, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- FRAKNOI, Andrew. Teaching Astronomy with Science Fiction: A Resource Guide. **Astronomy Education Review**, v. 1, n. 2, p. 112-119, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Andrew-Fraknoi/publication/250277919_Teaching_Astronomy_with_Science_Fiction_A_Resource_Guide/links/0c960534e285d5d14d000000/Teaching-Astronomy-with-Science-Fiction-A-Resource-Guide.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- FREIRE, Paulo. **À sombra desta mangueira**. São Paulo: Editora Olho d'Água, 1995.
- FRÓES, André Luís Delvas. Astronomia, astrofísica e cosmologia para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172014000300016>>. Acesso em: 23 mai. 2023.
- GILLIGAN, Carol. **In a different voice: psychological theory and women's development**. Cambridge, U.S.A.: Harvard University Press, 1993.
- GOUW, Ana Maria Santos; MOTA, Helenadja Santos; BIZZO, Nelio Marco Vincenzo. O Jovem Brasileiro e a Ciência: Possíveis Relações de Interesse. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p. 627-648, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4483>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- HAWKING, Stephen William. **Buracos negros: Palestras da BBC Reith Lectures**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2017.
- HOOFT, Gerard 't. **Introduction to the theory of black holes**. Utrecht, Netherlands: Utrecht University, 2009. Disponível em: <https://webpace.science.uu.nl/~hooft101/lectures/blackholes/BH_lecturenotes.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2023.
- LEA, Robert. Sagittarius A*: The Milky Way's supermassive black hole. **Space**, May 11, 2022. Disponível em: <<https://www.space.com/sagittarius-a>>. Acesso em: 27 mai. 2023.
- MACHADO, R. R.; TORT, A. C. Michell, Laplace e as estrelas negras: uma abordagem para professores do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 2, e2314, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0017>>. Acesso em: 23 mai. 2023.
- MAEDER, André. Stellar yields as a function of initial metallicity and mass limit for black hole formation. **Astronomy and Astrophysics**, v. 264, p. 105-120, 1992. Disponível em: <<https://adsabs.harvard.edu/pdf/1992A%26A...264..105M>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- MACHADO, R. R.; TORT, A. C.; ZARRO, C. A. D. Squashing and spaghettification in Newtonian gravitation. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20200278, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0278>>. Acesso em: 25 mai. 2023.
- MATSAS, George. **Buracos negros no cosmos**. Revista USP, São Paulo, n. 61, p. 88-93, 2004. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13344/15162>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

- MATSAS, George; VANZELLA, Daniel. Buracos negros: uma viagem aos abismos do universo. In: NATALE, A. A.; VIEIRA, C. L. (Org). **O universo sem mistérios**: uma visão descomplicada da física contemporânea: do Big Bang às partículas. Rio de Janeiro: Editora Vieira e Lent, 2003.
- NIVEN, Larry. **A World out of Time**. New York, U.S.A.: Spectrum Literary Agency, 2015.
- NORTON, John D. **Black Holes**. 2001. Disponível em: <https://sites.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/black_holes/index.html#:~:text=A%20Newtonian%20black%20hole%20is,and%20gravitation%20to%20spacetime%20geometry.>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- OLIVEIRA, Victor Hugo Rangel de. **Alguns aspectos da física de buracos negros através da modelagem matemática**: uma intervenção didática para o ensino médio. 2017. 158p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Goytacazes, RJ, 2017.
- OPPENHEIMER, Julius Robert; SNYDER, Hartland. On Continued Gravitational Contraction. *Physical Review*, v. 56, p. 455-459, 1939. Disponível em: <<https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.56.455>>. Acesso em: 17 mai. 2023.
- REALE, Manuella Vieira. **O sabor do saber**: Divulgação científica em interação no YouTube. 2018. 165f. Dissertação (Mestrado em Comunicação e Semiótica) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.academia.edu/37073767/O_sabor_do_saber_Divulgac_a_o_cienti_fica_em_interac_a_o_no_YouTube>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- SAA, Alberto. Cem anos de buracos negros: o centenário da solução de Schwarzschild. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 4, e4201, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0191>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- SCHWARZSCHILD, Karl. **On the gravitational field of a mass point according to Einstein's theory**. ArXiv, 1999. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/physics/9905030>>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- SILVA, Ruan Bitencourt. O efeito de dilatação do tempo no filme “Interestelar”. **Universo Racionalista**, 8 de julho de 2020. Disponível em: <<https://universoracionalista.org/o-efeito-de-dilatacao-do-tempo-no-filme-interestelar/>>. Acesso em: 27 mai. 2023.
- SOUZA, Julio Cesar Chirichella Felicioni de. Singularidade: O artigo seminal sobre buracos negros. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 1, p. 193-196, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/astronomia/article/view/33409/22902>>. Acesso em: 21 mai. 2023.
- SOUZA FILHO, Cleber de; OURIQUES, Evandro Vieira. Super-heróis, história dos quadrinhos e a popularização das ciências. **Revista Scientiarum Historia**, v. 1, n. 1, e159, 2017. Disponível em: <<http://revistas.hte.ufrj.br/index.php/RevistaSH/article/view/159>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- TILLMAN, Nola Taylor; DOBRIJEVIC, Daisy; BIGGS, Ben. Black holes: Everything you need to know. **Space**, 2022. Disponível em: <<https://www.space.com/15421-black-holes-facts-formation-discovery-sdcmp.html>>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 2000.
- THORNE, Kip. **The Science of Interstellar**. New York: W. W. Norton & Company, 2014.
- TYSON, Neil deGrasse. **Morte no buraco negro e outros dilemas cósmicos**. São Paulo: Planeta, 2016.
- WILLIAMS, Matt. The Lowest Mass Black Hole has Been Found, only 3.3 Times the Mass of the Sun. **Universe Today**, November 3, 2019. Disponível em: <<https://www.universetoday.com/143925/the-lowest-mass-black-hole-has-been-found-only-3-3-times-the-mass-of-the-sun/>>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- ZHANG, Shuang Nan; LIU, Yuan. Observe matter falling into a black hole. **AIP Conference Proceedings**, v. 968, 384, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1063/1.2840436>>. Acesso em: 26 mai. 2023.