

Uso de vídeos em atividades de divulgação científica sobre buracos negros e ondas gravitacionais

USO DE VÍDEOS EM ATIVIDADES DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE BURACOS NEGROS E ONDAS GRAVITACIONAIS

USO DE VIDEOS EN ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN CIENTÍFICA SOBRE AGUJEROS NEGROS Y ONDAS GRAVITACIONALES

USE OF VIDEOS IN SCIENCE DISSEMINATION ACTIVITIES ABOUT BLACK HOLES AND GRAVITATIONAL WAVES



João Pereira NETO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
e-mail: jpn.mnb@gmail.com



Ricardo Roberto Plaza TEIXEIRA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
e-mail: rteixeira@ifsp.edu.br



| 1

Como referenciar este artigo

PEREIRA NETO, J.; TEIXEIRA, R. R. P. O uso de vídeos em atividades de divulgações científica sobre buracos negros e ondas gravitacionais. **Revista Hipótese**, Bauru, v. 8, e022003, 2022. e-ISSN: 2446-7154. DOI: <https://doi.org/10.47519/eiaerh.v8.2022.ID7>

Submetido em: 23/01/2021

Revisões requeridas em: 10/05/2021

Aprovado em: 05/06/2021

Publicado em: 01/01/2022

RESUMO: Esta pesquisa analisou a utilização didática de apresentações audiovisuais de divulgação científica para o ensino de temas de astronomia, tais como buracos negros e ondas gravitacionais, nas quais foram usados vídeos de curta duração e cenas de filmes e de documentários. A investigação realizada caracterizou-se como exploratória e qualitativa, mediante um processo interrogativo e reflexivo, buscando compreender os fatos observados com o intuito de apontar para novas possibilidades para a educação científica. As ações de divulgação científica realizadas indicaram um grande interesse dos alunos por temas de astronomia e astrofísica.

PALAVRAS-CHAVE: Divulgação da ciência. Astronomia. Recurso audiovisual. História da ciência.

RESUMEN: *Esta investigación analizó el uso didáctico de presentaciones audiovisuales de divulgación científica para la enseñanza de temas de astronomía, como agujeros negros y ondas gravitacionales, en las que se utilizaron videos cortos y escenas de películas y documentales. La investigación realizada se caracterizó por ser exploratoria y cualitativa, a través de un proceso interrogativo y reflexivo, buscando comprender los hechos observados con el fin de señalar nuevas posibilidades para la educación científica. Las acciones de divulgación científica realizadas indicaron un gran interés de los estudiantes por temas de astronomía y astrofísica.*

PALABRAS CLAVE: *Difusión de la ciencia. Astronomía. Recurso audiovisual. Historia de la ciencia.*

| 2

ABSTRACT: *This research analyzed the didactic use of audiovisual presentations of scientific dissemination for the teaching of astronomy themes, such as black holes and gravitational waves, in which short videos and scenes from films and documentaries were used. The investigation carried out was characterized as exploratory and qualitative, through an interrogative and reflective process, seeking to understand the facts observed to point to new possibilities for scientific education. The scientific dissemination actions carried out indicated a great interest by students in astronomy and astrophysics themes.*

KEYWORDS: *Dissemination of science. Astronomy. Audiovisual resource. History of science.*

Introdução

Desde a Antiguidade, a humanidade vem observando e estudando as estrelas e outros objetos existentes no céu; de início, a partir da fenomenologia daquilo que era observado, na maior parte das vezes. O estudo da astronomia possibilita que o ser humano entenda melhor a sua posição espacial e compreenda alguns dos fenômenos observáveis na natureza: para entendermos os fenômenos presentes em nosso planeta, em alguns casos, é vital “olhar” para além da atmosfera terrestre, como o homem tem feito desde tempos imemoriais. A compreensão acerca do céu e do universo foi uma preocupação que permeou diversas culturas, desde as mais simples até aquelas mais sofisticadas em termos tecnológicos (FERREIRA; MEGLHIORATTI, 2008).

No Egito e na Mesopotâmia, aproximadamente no terceiro milênio antes de Cristo, tendo como ponto de partida os imperativos e as necessidades da vida cotidiana, associados ao desenvolvimento da produção agrícola, às estações do ano (conhecimento sobre em que época semear) e à troca de produtos (necessidade de contagem e de quantificação), surgiram a astronomia e a matemática, as duas primeiras ciências (ROSMORDUC, 1983).

No século XVII, Isaac Newton (1643-1727) estruturou matematicamente a ideia da existência de uma força de ação à distância para explicar a atração gravitacional entre quaisquer dois objetos com massa, ou seja, também entre os corpos celestes. Newton começou a observar as modificações de marés e, como muitos pescadores atentos já haviam notado, percebeu existir uma coincidência entre as fases da Lua e as marés altas e baixas. Assim, depois de anos de estudos e observações, ele chegou à famosa expressão que explica o comportamento da força gravitacional, concluindo que todos os astros estavam sujeitos a essa força e que massa atrai massa. A gravidade da Terra se enfraquece de maneira inversamente proporcional ao quadrado da distância: assim, ela é dividida por quatro quando duplicamos a distância. A lei da gravitação é muito importante em escalas cosmológicas, para explicar o funcionamento do Universo (FEYNMAN, 2012).

Newton unificou duas áreas que, até então, eram encaradas separadamente (VERDET, 1991): o estudo da queda dos corpos, cujas leis foram antes dadas por Galileu Galilei (1564-1642), e o estudo da revolução da Lua ao redor da Terra, que seguia as regras empíricas desenvolvidas anteriormente por Johannes Kepler (1571-1630).

Mais a frente historicamente, no século XIX, se consolidou, por meio do trabalho de Michael Faraday, a ideia mais abstrata da existência de campos que permitem – fazendo uma

mediação – a atuação à distância de uma força (REIS, 2006).

A física moderna teve seu prólogo no estudo dos céus: as suas origens estão situadas no estudo dos problemas astronômicos e esse vínculo foi mantido ao longo de toda a história da ciência. Ao longo desse processo, ocorreram importantes transformações na visão de mundo predominante, em particular o abandono da concepção do cosmo como sendo uma unidade fechada e hierarquicamente ordenada, na qual o céu e a Terra estavam sujeitos a diferentes leis, que foi substituída pela concepção de um universo aberto, indefinidamente extenso e unido pelas mesmas leis fundamentais que governam todas as suas partes constituintes, o que implicou na fusão newtoniana da física celeste com a física terrestre (KOYRÉ, 1943).

Buracos negros e ondas gravitacionais

Em 1783, no âmbito da mecânica newtoniana, o cientista inglês John Michell (1724-1793) propôs o conceito de "estrela escura", uma estrela com densidade suficientemente alta para que nem mesmo a luz pudesse escapar de sua atração gravitacional (GRAHAM, 2017). Posteriormente, a relatividade geral, a partir do trabalho do físico Albert Einstein (1879-1955), se desenvolveu durante a segunda década do século XX, utilizando uma sofisticada abordagem matemática para estudar os efeitos da ação gravitacional: as equações tensoriais. A não-linearidade dos problemas e a quantidade de equações que representam um único fenômeno podem ser, hoje, superadas graças ao desenvolvimento computacional que facilitou a compreensão de diversos fenômenos (HORVATH, 2007). Alguns físicos e matemáticos se dedicaram a propor soluções para os problemas oriundos da relatividade geral, como as métricas de Karl Schwarzschild (1873-1916), que descrevem um campo gravitacional externo a certos corpos com simetria esférica, sem rotação. Com as novas tecnologias aplicadas ao campo da cosmologia e da astronomia, sobretudo no campo da observação, as previsões teóricas foram adquirindo corpo e se confirmando.

Um dos modelos de universo decorrentes da Teoria da relatividade era aquele em que a tessitura de espaço-tempo poderia ser distorcida por eventos violentos associados ao choque de corpos com abundância de matéria: o espaço-tempo, enquanto estrutura, sentiria os efeitos desses choques na forma de ondas. As ondas gravitacionais são ondas do tipo transversal que se deslocam na velocidade da luz. Elas são geradas por eventos cósmicos de proporções inimagináveis que envolvem astros com massas gigantescas, como, por exemplo, a fusão de buracos negros ou sistemas binários de estrelas de nêutrons. Embora a radiação gravitacional

apresenta muitas dificuldades experimentais para ser detectada, sua principal vantagem é que ela pode diagnosticar o universo de modo integral, pois toda a matéria contida no universo interage com as ondas gravitacionais (ASSIS, 2016).

Em 14 de setembro de 2015, cientistas do LIGO, “*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*” ou “Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser”¹, puderam observar as ondas gravitacionais resultantes do choque entre dois buracos negros supermassivos, que estavam situados a cerca de 1,2 bilhão de anos-luz de distância da Terra. A interferometria a laser é um método experimental para determinar distâncias com muita precisão, utilizando o fenômeno conhecido da interferência de ondas de qualquer tipo (de som, de luz ou gravitacional), por uma estrutura em forma da letra L, com dois braços formando um ângulo reto. Foi a primeira vez em que ondas gravitacionais formadas pela coalescência de dois buracos negros foram detectadas diretamente. O decaimento orbital de sistemas binários de buracos negros provoca a perda de energia do sistema que se propaga na forma de ondas gravitacionais. O evento GW150914 foi revelado pela estrutura do laboratório LIGO em Hanford e Livingston nos Estados Unidos (ABBOTT *et al.*, 2016). Estas ondas gravitacionais foram formadas pela coalescência de dois buracos negros, cujas massas (valendo 36 e 29 massas solares) somadas eram de cerca 65 massas solares; neste caso cerca de 3 massas solares foram irradiadas na forma de ondas gravitacionais (MOFFAT, 2016). Uma segunda observação de ondas gravitacionais, feita também pelo LIGO, ocorreu em 26 de dezembro de 2015; este evento, denominado de GW151226, também ocorreu devido à coalescência de um sistema binário formado por dois buracos negros (BASSALO; CATTANI, 2016). A detecção destes minúsculos tremores no espaço-tempo que resultam de buracos negros colidindo, o LIGO abriu uma nova “janela” de observação do universo, em certo sentido, semelhante ao que Galileu fez em 1609 quando apontou pela primeira vez um telescópio para o céu (WOLCHOVER, 2016).

Em janeiro de 2017, uma nova detecção de ondas gravitacionais foi feita pelo LIGO, o evento GW170104 (ABBOTT *et al.*, 2017). Nesta detecção a massa somada dos dois buracos negros que se coalesceram era de cerca de 50 massas solares, com o evento tendo ocorrido a cerca de 3 bilhões de anos-luz de distância da Terra. Um problema existente foi a determinação da região específica do espaço de onde provêm estas ondas gravitacionais: isto só pode ser resolvido por meio de triangulação, o que ocorrerá no futuro próximo com o uso do observatório VIRGO (na Itália), que será um terceiro ponto de observação junto com as duas instalações do

¹ Disponível em: <https://www.ligo.org>. Acesso em: 10 fev. 2021.

LIGO, existentes nos EUA, em Hanford e Livingston. Há interessantes desdobramentos matemáticos a respeito desta questão que podem ser trabalhados em atividades de educação científica: por exemplo, as analogias com a determinação da posição de uma pessoa por meio do GPS (que necessita de três referências) e com a determinação do epicentro de um terremoto ou de um tsunami, que é uma onda marítima gigantesca que guarda certas similaridades com as ondas gravitacionais, em uma abordagem didática. A detecção de ondas gravitacionais teve o papel adicional de confirmar a existência dos próprios buracos negros, uma classe de objetos que se originam de estrelas supermassivas.

Em 13 de janeiro de 1916, foi publicado nos Anais da Academia Real de Ciências da Prússia um artigo elaborado pelo físico e astrônomo alemão Karl Schwarzschild (1873-1916), contendo um resultado obtido sobre o campo gravitacional de acordo com a relatividade geral. Este primeiro trabalho de 1916 de Schwarzschild está disponível na internet na sua tradução para o inglês, com o título “*On the gravitational field of a mass point according to Einstein's theory*” ou, em português, “Sobre o campo gravitacional de um ponto com uma massa puntiforme de acordo com a Teoria de Einstein” (SCHWARZSCHILD, 1916a). O resultado desta pesquisa descreveu um tipo simples de uma nova classe de objetos, denominados buracos negros. Schwarzschild em 1913 o foi eleito membro da Academia de Ciências de Berlim, em 1914 ingressou no exército Germânico e lutou pelo seu país na Primeira Guerra Mundial, contra soldados Soviéticos, direcionando seus esforços para a realização de cálculos balísticos e meteorológicos.

De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, a interação gravitacional não é mediada por potenciais, mas sim pelas propriedades geométricas de espaço-tempo, conceito esse que foi introduzido em 1908 pelo matemático Hermann Minkowski (1864-1909). A interpretação dos efeitos da curvatura de espaço-tempo só se consolidou quando foi publicado um segundo artigo de Schwarzschild, enviado em 24 de fevereiro de 1916, que levou em consideração uma distribuição esférica e homogênea de matéria. Este segundo trabalho de 1916 de Schwarzschild está disponível na internet na sua versão original em alemão com o título “*Über das gravitationsfeld einer kugel aus inkompressibler flüssigkeit nach der Einsteinschen theorie*” ou, em português, “Sobre o campo gravitacional de uma esfera feita com um líquido incompressível de acordo com a Teoria de Einstein” (SCHWARZSCHILD, 1916b). É neste segundo artigo que aparece pela primeira vez a quantidade r_s , o chamado raio de Schwarzschild. A partir da igualdade entre a velocidade da luz e a velocidade que um objeto precisa ter para conseguir escapar da força de atração gravitacional de um corpo de massa M , é possível obter que

Uso de vídeos em atividades de divulgação científica sobre buracos negros e ondas gravitacionais

$r_s=2GM/c^2$, sendo c a velocidade da luz no vácuo, M a massa do objeto e G a constante de gravitação universal (SANTI, 2018). Essa fórmula matemática está associada a um determinado raio de curvatura da geometria de espaço tempo, causada por um corpo massivo, em que a velocidade de escape é a mesma da luz. Ou seja, essa fórmula descreve um “local” perto de um corpo com uma grande massa a partir do qual, todo objeto que cai nele (e está dentro deste raio), permanece eternamente preso dentro deste corpo e mesmo que consiga adquirir a velocidade da luz (a maior velocidade permitida pela Teoria da Relatividade), não consegue sair dele, pois a velocidade de escape é maior que a velocidade da luz! Esse é o chamado Horizonte de Eventos, uma espécie de superfície que circula um buraco negro: a ciência que explica por meio de suas leis gerais o que acontece no universo, a partir dessa superfície, em direção à singularidade, que é o centro do buraco negro, perde validade quanto aos seus princípios e às suas leis.

O interesse sobre buracos negros renasceu na década de 1950 a partir do trabalho de David Finkelstein (1929-2016), que interpretou a superfície esférica com o raio de Schwarzschild como uma forma de membrana unilateral (FINKELSTEIN, 1958) entre duas regiões, estando a região externa totalmente desconectada da região interna, sem possibilidade de comunicação do interior do buraco negro com o seu exterior (SAA, 2017): influências causais podem atravessar esta membrana, mas apenas em uma direção. Este trabalho foi fundamental para que se passasse a aceitar a existência física do conceito de horizonte de eventos e, por decorrência, dos buracos negros, encorajando o surgimento da área de pesquisa vibrante na atualidade que é a astrofísica de buracos negros.

Os dois artigos de Schwarzschild sobre a Teoria da Relatividade publicados no início de 1916, foram escritos em meados de 1915, quando o autor estava servindo no exército alemão durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918). Pouco depois da publicação destes dois artigos, em 11 de maio de 1916, Karl Schwarzschild viria a falecer de uma doença de pele autoimune e dolorosa, o pênfigo.

Finalmente, é importante lembrar do trabalho de Stephen Hawking que em 1973, descobriu que, graças a uma combinação de efeitos quânticos e gravitacionais, os buracos negros não eram completamente negros e deixavam escapar uma radiação (a “radiação de Hawking”), devido ao fato de que na borda do horizonte de eventos, os efeitos quânticos permitiam que pares de partículas e antipartículas surgissem do nada, e devido aos efeitos gravitacionais, um dos parceiros de cada uma destas duplas desaparecia dentro do buraco negro,

enquanto o outro escapava em direção ao espaço exterior (PANEK, 2014).

Ensino de astronomia

Muitos trabalhos de pesquisa têm destacado que é importante ensinar física de maneira multidisciplinar, articulando em diferentes níveis conceitos dessa ciência com outros elementos da cultura humana (PORTO; PORTO, 2008; OLIVEIRA, 2020). A astronomia é uma ciência que por natureza, se apresenta com diversas relações interdisciplinares com outras áreas do conhecimento, bastando lembrar para isso de termos como astrofísica, astroquímica, astrobiologia, astro-informática e astro-estatística. Conceitos da astronomia fazem parte do programa de ciências ou de geografia no ensino fundamental, além de serem abordados também nas disciplinas de física e química no ensino médio (BRETONES, 2006; LEITE, 2006; SOLBES; PALOMAR, 2013; VOELZKE; MACÊDO, 2020).

Há uma série de trabalhos que apontam diversas potencialidades que o ensino de astronomia oferece para o processo educacional e que, muitas vezes, são desperdiçadas. Vários trabalhos também indicam que a astronomia tem uma imensa capacidade para cativar os jovens para a ciência. Portanto, temas de astronomia, astrofísica e cosmologia podem se constituir, se bem trabalhados, em fortes recursos interdisciplinares, tendo em perspectiva o fato que englobam conhecimentos de diversas áreas do saber.

A amplitude e diversidade de conhecimentos produzidos pelos seres humanos criou aquilo que se denomina de cultura humana (TYLOR, 2014), que inclui as artes, as leis, os costumes, os hábitos, as habilidades, as crenças e, também, as ciências. O conceito de cultura humana está intrinsecamente relacionado ao conceito de civilização: a evolução cultural se materializou no processo civilizatório e gerou a diversidade cultural existente na humanidade, em certo sentido, um contraposto à unidade biológica da espécie humana (LARAIA, 2009). Todavia, geralmente, quando se fala em cultura, raramente a física – e muito menos a astronomia – é lembrada (ZANETIC, 2005). Entretanto, os conceitos físicos são criações da mente humana – como um livro ou uma sinfonia – não sendo unicamente determinados pelo mundo exterior (EINSTEIN; INFELD, 2008). O mundo acadêmico e universitário se vê dividido entre duas culturas: há as humanidades e as artes de um lado (associadas tradicionalmente à cultura erudita) e há as ciências naturais e as tecnologias por outro lado (SNOW, 2015). A leitura de textos literários clássicos leva o leitor frequentemente a um estado de envolvimento mental, pelo espaço permitido para o belo, o lúdico, as fantasias e as emoções;

da mesma forma, isto é possível ocorrer com a leitura de um bom livro de divulgação científica.

A sociedade atual tem no uso intensivo da imagem e do som uma das suas principais características. Em particular, a ficção científica pode se tornar uma ferramenta didática pelo estímulo à imaginação sobre questões originadas na ciência e na relação sociocultural das pessoas com ela (PIASSI; PIETROCOLA, 2009). A ciência em geral – e a física e a astronomia, em particular – devem fazer parte da formação cultural do cidadão contemporâneo, independentemente das diferenças de interesses individuais que existem (ZANETIC, 2006): esta é a bagagem de conhecimentos que temos, por fazermos parte do todo que chamamos de humanidade. Apresentar o conhecimento científico acumulado pela humanidade para os alunos da educação básica é sempre um desafio.

A linguagem audiovisual subjacente às novas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) permeia boa parte das relações entre as pessoas no mundo moderno, tanto nas horas de lazer, como nas horas de trabalho: por isso é que há um grande potencial educativo no uso de recursos audiovisuais, dado a sua participação na vida cotidiana (ATANAZIO; LEITE, 2018).

A parceria entre a área de ensino de ciências e o estudo sobre como usar vídeos como recurso didático vem se consolidando há bastante tempo. Os recursos audiovisuais têm sido utilizados para ilustrar, apresentar e discutir ideias, princípios e conceitos científicos, de modo a motivar, sensibilizar ou problematizar. Os vídeos, porém, precisam ser pensados do ponto de vista da formação de leitores de ciências, não somente no sentido de leitores de textos verbais e escritos, mas também de leitores de imagens em movimento e sons em vídeos (RAMOS; SILVA, 2014). Neste sentido, é fundamental educar os jovens para o domínio da leitura do simbólico (ALMEIDA, 2004), ou seja, para a leitura da televisão, do cinema, da fotografia, da música, das imagens e dos sons.

| 9

Atividades de divulgação científica realizadas

Nesta pesquisa de caráter exploratório investigou-se como intervenções educacionais, usando vídeos de curta duração e trechos recortados de filmes ou de documentários científicos, podem contribuir efetivamente para a criação de novas dinâmicas de ensino e para a aprendizagem de conceitos científicos importantes. A internet – e seus sites armazenadores de vídeos como o *YouTube* com capacidade quase que ilimitada – é um “celeiro” para descobrir materiais audiovisuais específicos da área de astronomia, que pela sua originalidade podem ser

ferramentas educacionais poderosas e úteis.

Pelo tipo de linguagem e pelas imagens e sons apresentados, muitos vídeos científicos sobre temas relacionados à astronomia podem de fato combater a indisposição existente entre muitos alunos – em alguns casos, o sentimento é definido como sendo de “ódio”, nas palavras de alguns estudantes – no que diz respeito à disciplina de física no ensino médio (MOREIRA, 2018). É paradoxal o fato de que a astronomia produzir um verdadeiro fascínio em uma parcela considerável dos estudantes (e dos cidadãos em geral) e ao mesmo tempo a física – que na sua gênese está intensamente relacionada à astronomia – produzir tanta aversão entre os alunos de ensino médio: trata-se, em certo sentido, de uma mistura de amor e de ódio, voltados não para o mesmo foco, obviamente.

A história da ciência foi uma parte importante dessa pesquisa, pois ela pode conferir sentido ao ensino de ciências para crianças, adolescentes e jovens, em particular, com um trabalho educacional que procure abordar temas da história da astronomia. O uso da história da ciência na educação pode “humanizar” os conteúdos de ciências naturais ensinados, colocando o estudante em um contexto que revela a complexidade da evolução histórica das teorias científicas e das descobertas que aconteceram, permitindo compreender melhor os caminhos geralmente não-lineares do processo de construção do conhecimento humano (EINSTEIN; INFELD, 2008; WHITE, 2003). Trabalhar com a história da ciência em sala de aula é conferir a devida importância ao valor cultural que a ciência tem em nossa sociedade; ela também permite melhorar a compreensão das metodologias científicas de diversas áreas, enfatizando assim o caráter diverso do conhecimento produzido pelas sociedades humanas (CHASSOT, 2014; PIASSI; PIETROCOLA, 2009; STANNARD, 2011).

Durante esta pesquisa, foram estruturadas e realizadas atividades educacionais de divulgação científica, com o uso de materiais audiovisuais, em particular de vídeos. Os resultados destas atividades foram avaliados tendo em vista os seus impactos e pela observação atenta acerca de como elas transcorreram e das possibilidades de diálogo criadas com os estudantes envolvidos. Deste modo, foram realizadas uma dezena de apresentações audiovisuais de divulgação científica sobre ondas gravitacionais e as suas relações com buracos negros, para diferentes tipos de público em 2017 e 2018. Essas atividades ocorreram em escolas públicas da região do litoral norte paulista e em outros espaços, inclusive dentro do próprio campus de Caraguatatuba do Instituto Federal de São Paulo (IFSP-Caraguatatuba), geralmente para alunos de instituições de ensino que estavam visitando essa instituição.

As ações de divulgação da ciência realizadas estiveram alicerçadas em trechos de

documentários científicos e em algumas cenas de filmes de ficção científica que estavam disponíveis em plataformas de armazenamento de vídeos como o *YouTube*. De maneira complementar a isso, foram utilizadas outras fontes de recursos audiovisuais, como as palestras TED (“TED *talks*”) das conferências disponibilizadas no site < <https://www.ted.com/>>, vídeos que também estão disponíveis em canais do *YouTube*, como o canal da “NASA”² e vídeos produzidos por astronautas da “Estação Espacial Internacional” (“*International Space Station*” - ISS).

O material produzido se estruturou na forma de um arquivo *powerpoint* com vídeos de curta duração associados a alguns slides específicos. A palestra ou apresentação elaborada teve como eixo o estudo das características das “Ondas Gravitacionais” sob a perspectiva da história da ciência e da tecnologia e, na sua versão completa, foi pensada para durar 60 minutos.

Ainda são poucas as referências bibliográficas existentes sobre o tratamento e a manipulação de cenas de filmes e de documentários com objetivos educacionais, em particular para a divulgação científica (BERK; ROCHA, 2019), sendo que apenas alguns autores dialogam com questões sobre critérios para a seleção de vídeos ou indicações de filmes que possam ser usados com objetivos educacionais em determinados tipos de situações (NAPOLITANO, 2013). Deste modo, para a estruturação da apresentação de divulgação científica sobre ondas gravitacionais, foram selecionados vídeos e trechos de filmes e documentários, tendo como referência a sua relevância em relação aos conteúdos principais que se queria ilustrar, bem como aos conceitos científicos tratados durante a atividade.

Para isso, foi preciso investigar e conhecer diversos filmes, documentários e vídeos, muitos dos quais não entraram na apresentação, para poder selecionar aqueles que possuíam uma maior afinidade com o tema em foco e cujas cenas dialogavam melhor com os conceitos abordados na palestra, de modo a provocar a reflexão e estimular a imaginação dos alunos.

No que diz respeito à utilização dos recursos audiovisuais, foi preciso um planejamento da atividade por completo, levando em consideração tanto as representações que os estudantes poderiam estruturar a partir das situações cotidianas vivenciadas por eles, quanto o incentivo ao senso crítico e ao hábito de observar problemas e fenômenos de modo mais profundo. Esta orientação foi importante para que os alunos não tratassem a exibição dos vídeos como um momento apenas de entretenimento, não aproveitando-os para a aprendizagem de conteúdos científicos. Foi incentivada uma atitude ativa dos estudantes na seleção e escolha dos vídeos

² Disponível em: <https://www.youtube.com/user/NASAtlevision>. Acesso em: 10 fev. 2021.

que assistem na internet no dia-a-dia, para pesquisas escolares ou para entretenimento, como protagonistas de sua própria aprendizagem – e não como meros consumidores de materiais videográficos –, trabalhando conteúdos conceituais, atitudinais e procedimentais que são importantes para a formação cognitiva dos cidadãos (NOGUEIRA; GONÇALVES, 2017).

Na navegação espontânea que os alunos (na verdade, todas as pessoas) fazem pela internet e em sites como o *YouTube*, as sugestões oferecidas aos usuários, indicando conteúdos associados, são produzidas por um algoritmo de inteligência artificial cujo principal enfoque é o número de visualizações e não a correção científica do material exibido ou a formação acadêmica dos “produtores de conteúdos” para a internet. Isto torna ainda mais importante que as atividades educacionais estejam fortemente focadas na tarefa de capacitar os alunos para que consigam navegar pela internet com discernimento, responsabilidade e autonomia.

A escolha dos vídeos apresentados também levou em conta o objetivo de valorizar os alunos como sendo os protagonistas de seu próprio processo de aprendizagem. As cenas extraídas de filmes de ficção científica procuraram ir além da metodologia da verificação de erros (PIASSI; PIETROCOLA, 2009). Foram vários os fatores analisados nas obras cinematográficas de ficção científica que foram consideradas para terem trechos incluídos durante a apresentação: os fenômenos que são apresentados nos filmes; os conceitos científicos que permeiam as narrativas; a precisão científica nas cenas presentes; os momentos em que princípios científicos são contextualizados a partir de situações do mundo real.

Foram feitas, aos alunos, perguntas sobre a natureza da força da gravidade, sobre a constituição dos objetos celestes e sobre a forma de “nascimento” das estrelas. Uma pergunta que atraía, particularmente, a atenção dos alunos se referia ao chamado processo hipotético denominado de “espaguetificação”, que se refere a um experimento mental no qual uma pessoa cai em um buraco negro, com o eixo dessa pessoa alinhado com a direção radial: nesse caso, se os pés da pessoa estiverem mais próximos do centro do buraco negro do que a cabeça, a atração gravitacional sobre os pés será maior que a atração gravitacional sobre a cabeça. Neste momento, nas apresentações realizadas, muitas vezes, a reação era inicialmente de silêncio, mas na sequência surgiam, por parte dos alunos, perguntas sobre se era possível uma pessoa se manter viva ao cair em um buraco negro e sobre se existiria alguma forma da pessoa, posteriormente, conseguir sair do buraco negro. Foi observado, durante a investigação realizada, que a utilização de exemplos hipotéticos deste tipo despertava a curiosidade dos alunos, que passavam a associar uma situação concreta a um conceito bastante abstrato, como o de um buraco negro.

Foram investigados basicamente três elementos nos filmes analisados: elementos linguísticos, relacionados ao uso da linguagem e à precisão quanto à terminologia empregada para se referir a determinados fenômenos físicos; elementos “objetos”, que se referem aos artefatos e outros elementos substantivos que aparecem; elementos fenomenológicos, que se referem aos fenômenos que foram discutidos e trazidos em cena.

Tabela 1 – Vídeos disponíveis na internet usados na apresentação

Tipo de material	Título	Como foi usado
Vídeo da internet	Astronauta mostra como é incrível torcer um pano molhado no espaço (< https://www.youtube.com/watch?v=OmVAUHSouo&t=72s >)	Para explicar como a gravidade atua em um astronauta em órbita em torno da Terra e para explicar o conceito de imponderabilidade.
Vídeo da Internet	Gravidade - Quer que desenhe (< https://www.youtube.com/watch?v=6DFYKiXSLFY >)	Para explicar a lei da gravidade segundo dois pontos de vista, o newtoniano e o einsteiniano.
Vídeo da Internet	Ondas Gravitacionais - Nerdologia (< https://www.youtube.com/watch?v=z71O5cHTOvM&t=30s >)	Para explicar o experimento do Laboratório de Ondas Gravitacionais com Interferometria a Laser (LIGO), nos Estados Unidos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Foram investigados e analisados documentários de diferentes fontes, tais como a BBC (canal da televisão pública britânica), a PBS (canal da televisão pública dos EUA) e alguns canais de TV paga (por assinatura), como o *Discovery Channel*, o *National Geographic* (NatGeo) e o *History Channel*, todos eles produtores de documentários de divulgação de conhecimentos relacionados à física e à astronomia. Em alguns casos, de materiais audiovisuais de excelente qualidade e que podem ser úteis em palestras, oficinas e apresentações educacionais. Outras fontes de pesquisa foram os vídeos que estão disponíveis na internet em canais do *YouTube*, como os canais “Nerdologia”³ e o “Um sábado qualquer” / “Quer que desenhe”⁴.

A divulgação científica no âmbito da sociedade contemporânea é cada vez mais importante, posto que é a forma como a sociedade percebe a atividade científica e compreende os seus resultados (MASSARANI; ALVES, 2019). A divulgação científica – a popularização

³ Disponível em: <https://www.youtube.com/user/nerdologia>. Acesso em: 10 fev. 2021.

⁴ Disponível em: <https://www.youtube.com/channel/UCeXoFprcU1KMiGu1gREsFw>. Acesso em: 10 fev. 2021.

da ciência – serve como ponte entre a ciência e o público leigo que, muitas vezes, por mais que use da ciência e da tecnologia em seu dia a dia, não nota a importância delas para o desenvolvimento, econômico, social e educacional da coletividade (CHASSOT, 2003; ROSA, 2012).

Um dos fatores que influencia essa situação é o fato de que a ciência é cada vez mais complexa e está cada vez mais apartada dos cidadãos. Adicionalmente, há uma incapacidade – ou falta de disposição – por parte de muitos cientistas em difundirem suas pesquisas e seus estudos ao público: ou eles não divulgam o seu trabalho ou, quando divulgam, de diversas formas transparecem dificuldades em tornar a mensagem – ou seja, o conteúdo de seus trabalhos – compreensível para grande parte dos cidadãos leigos (TORRESI; PARDINI; FERREIRA, 2012). Ser compreendido pelas pessoas é fundamental para pesquisadores e deveria ser, na verdade, uma de suas obrigações elementares. Todo cientista deveria assumir um compromisso com a sociedade em favor da circulação das ideias e dos resultados de suas pesquisas (CANDOTTI, 2002), pois na grande maioria das vezes, é a sociedade que está financiando o trabalho dos cientistas.

Dentro das escolas, o uso de textos de divulgação científica vem sendo difundido como prática corrente por parte de alguns professores (SILVA, 2006). Um vídeo ou um documentário científico também é um “texto”, composto de imagens em movimento e sons, que podem colaborar para aproximar o discente dos conceitos científicos que são objetos de temas trabalhados em sala de aula.

A escola deve formar o cidadão formado para viver no mundo contemporâneo de modo a possuir as noções básicas e necessárias a respeito da ciência, de seus resultados e métodos, e dos riscos e interesses envolvidos em seus processos e aplicações (MOREIRA, 2006). Este é um dos motivos para a inserção de tópicos de história da ciência e da tecnologia no ensino e há uma grande quantidade de vídeos curtos e documentários de duração maior disponíveis na internet e que podem ser muito úteis para realizar esta tarefa.

Considerações finais

A linguagem audiovisual das novas Tecnologias da Informação e da Comunicação está cada vez mais presente na vida das pessoas, tanto nas suas horas de lazer, quanto nas horas trabalhadas. Por isso, o potencial educativo do audiovisual é imenso, dado sua participação na vida cotidiana. Nesta pesquisa, de caráter exploratório, investigou-se como intervenções

educacionais a partir do uso de vídeos curtos e de trechos recortados de filmes ou de documentários científicos podem contribuir para a criação de novas dinâmicas de aprendizagem e de ensino. Essas foram estratégias que se mostraram eficientes e viáveis para o público das escolas que foram visitadas e do próprio IFSP-Caraguatatuba. É importante que novas pesquisas com este perfil sejam realizadas junto a outros públicos, em outros contextos e trabalhando outros conteúdos.

O que os educadores podem usufruir de benefício com as novas tecnologias associadas ao uso de recursos audiovisuais? Quais serão os novos conhecimentos e habilidades que os cursos de formação de professores terão de desenvolver em seus alunos para que eles possam fazer um bom uso dessas tecnologias no que se refere ao processo de ensino-aprendizagem? Essas são perguntas que não têm propriamente respostas conclusivas, fechadas e definitivas, mas que têm um grande potencial para motivar novas pesquisas que poderão colaborar para a melhoria da qualidade da educação.

Finalmente, esta pesquisa permitiu um reconhecimento da grande importância do trabalho educacional com temas de astronomia junto a estudantes com diferentes graus de escolaridade. As relações interdisciplinares estabelecidas entre a astronomia e as disciplinas científicas escolares, em particular com a física, possibilitam uma gama bastante diversificada de abordagens que podem ajudar a superar dificuldades de aprendizagem. Além disso, há uma grande potencialidade no trabalho educacional integrando a astronomia com a história da ciência.

Em particular os buracos negros se mostraram como sendo um assunto que provoca o fascínio por parte de muitos dos jovens que participaram das atividades de divulgação científica que foram promovidas, talvez pelas características peculiares destes corpos celestes. A detecção recente de ondas gravitacionais – que ocorreu pela primeira vez em 2015 – pelo destaque que teve e continua tendo e pela forma como são produzidas ajuda também a colocar o conceito de buraco negro em pauta na mídia e nas redes sociais, o que colabora para intensificar a curiosidade do público a respeito deste assunto e que pode servir como motivação em atividades educacionais e de divulgação científica.

AGRADECIMENTOS: Agradecemos ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida a J. P. N., um dos autores deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, B. P. *et al.* GW170104: Observation of a 50-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence at Redshift 0.2. **Physical Review Letters**, v. 118, 221101, 2 jun. 2017. Disponível em: <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.118.221101>. Acesso em: 27 dez. 2020.

ABBOTT, B. P. *et al.* Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. **Physical Review Letters**, v. 116, 061102, 12 fev. 2016. Disponível em: <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.116.061102>. Acesso em: 28 dez. 2020.

ALMEIDA, M. J. P. M. **Discursos da ciência e da escola**. Campinas, SP: Mercado das Letras, 2004.

ASSIS, A. S. G. B. **Excitação de ondas MHD através da emissão de ondas gravitacionais produzidas por binárias de estrelas de nêutrons**. 2016. 142 f. Dissertação (Mestrado em em Astrofísica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2016. Disponível em: http://www.inpe.br/posgraduacao/ast/arquivos/dissertacoes/dissertacao_adam_smith_2016.pdf f. Acesso em: 30 dez. 2020. | 16

ATANAZIO, A. M. C.; LEITE, Á. E. Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e a formação de professores: Tendências de pesquisa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 2, p. 88-103, 30 ago. 2018. *Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)*. DOI: <http://dx.doi.org/10.22600/15188795.ienci2018v23n2p88>

BASSALO, J. M. F.; CATTANI, M. Detecção de ondas gravitacionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 879-895, dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/21757941.2016v33n3p879/32994>. Acesso em: 30 dez. 2020.

BERK, A.; ROCHA, M. O uso de recursos audiovisuais no ensino de ciências: uma análise em periódicos da área. **Revista Contexto & Educação**, v. 34, n. 107, p.72-87, 28 mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2019.107.72-87>

BRETONES, P. S. **A Astronomia na formação continuada de professores e o papel da racionalidade prática para o tema da observação do céu**. 2006. 252 f. Tese (Doutorado em em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006. Disponível em: <https://www.btdea.ufscar.br/teses-e-dissertacoes/a-astronomia-na-formacao-continuada-de-professores-e-o-papel-da-razao-pratica-para-o-tema-da-observacao-do-ceu>. Acesso em: 29 dez. 2020.

CANDOTTI, E. Ciência na Educação Popular. *In*: MASSARANI, L.; MOREIRA, I. C.; BRITO, F. (org.). **Ciência e público: caminhos da divulgação científica no Brasil**. Rio de

Janeiro: Casa da Ciência – UFRJ, 2002. Disponível em:
http://www.museudavida.fiocruz.br/images/Publicacoes_Educacao/PDFs/cienciaepublico.pdf.
Acesso em: 29 dez. 2020.

CHASSOT, A. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, n. 22, p. 89-100, 2003.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. **A evolução da Física**. Rio de Janeiro: Zahar, 2008.

FERREIRA, D.; MEGLHIORATTI, F. A. Desafios e possibilidades no ensino de astronomia. **Cadernos PDE**, Paraná, v. I, 2008. Disponível em:
<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2356-8.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2020.

FEYNMAN, R. P. **Sobre as leis da física**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012.

FINKELSTEIN, David. Past-Future Asymmetry of the Gravitational Field of a Point Particle. **Physical Review**, v. 110, p. 965-967, 15 May 1958. Disponível em:
<http://www.strangeplaces.com/files/finkelstein.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2020.

GRAHAM, Alister. Black holes are even stranger than you can imagine. **Phys.org**, 10 Feb. 2017. Disponível em: <https://phys.org/news/2017-02-black-holes-stranger.html>. Acesso em: 29 dez. 2020.

HORVATH, J. E. *et al.* **Cosmologia física**: do micro ao macro cosmos e vice-versa. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

KOYRÉ, Alexandre. Galileo and the Scientific Revolution of the Seventeenth Century. **The Philosophical Review**, v. 52, n. 4, p. 333-348, July 1943. Disponível em:
<http://home.thep.lu.se/~henrik/mnxa09/Koyre1943.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2020.

LARAIA, R. B. **Cultura**: um conceito antropológico. Rio de Janeiro: Zahar, 2009.

LEITE, C. **Formação do professor de ciências em astronomia**: uma proposta com enfoque na espacialidade. 2006. 274 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-05062007-110016/pt-br.php>. Acesso: 30 dez. 2020.

MASSARANI, L. M.; ALVES, J. P. A visão de divulgação científica de José Reis. **Ciência e Cultura**, v. 71, n. 1, p. 56-59, jan. 2019. Disponível em:
http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000967252019000100015&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 26 dez. 2020.

MOFFAT, J. W. LIGO GW150914 and GW151226 Gravitational Wave Detection and Generalized Gravitation Theory (MOG). **ArXiv**, 2016. Disponível em:
<https://arxiv.org/pdf/1603.05225.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

MOREIRA, I. C. A inclusão social e a popularização da ciência e tecnologia no Brasil.

Inclusão Social, v. 1, n. 2, 2006. Disponível em: <https://brapci.inf.br/index.php/res/v/100513>. Acesso em: 30 dez. 2020.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 73-80, dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s010340142018.3294.0006>

NAPOLITANO, M. **Como usar o cinema na sala de aula**. 5. ed. São Paulo: Contexto, 2013.

NOGUEIRA, F.; GONÇALVES, C. Divulgação científica: produção de vídeo como estratégia pedagógica para a aprendizagem de ciências. **Revista Areté/Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v. 7, n. 14, p. 93-107, maio 2017. Disponível em: <http://periodicos.uea.edu.br/index.php/arete/article/view/128>. Acesso em: 26 dez. 2020.

OLIVEIRA, S. R. Por que o céu é escuro à noite? Considerações geométricas com um olhar histórico e pedagógico do paradoxo de Olbers. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20200381, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126rbef-2020-0381>

PANEK, R. **De que é feito o universo?** Tradução: Alexandre Cherman. Rio de Janeiro: Zahar, 2014.

PIASSI, L. P.; PIETROCOLA, M. Ficção científica e ensino de ciências: para além do método de encontrar erro em filmes. **Educação e pesquisa**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 525-540, set./dez. 2009. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/ep/article/view/28208>. Acesso em: 29 dez. 2020.

PORTO, C. M.; PORTO, M. B. D. S. M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 4, p. 4601-4609, 2009. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/304601.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2020.

RAMOS, M. B.; SILVA, H. C. Educação em ciência e em audiovisual: olhares para a formação de leitores de ciências. **Cadernos CEDES**, v. 34, n. 92, p. 51-67, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ccedes/v34n92/a04v34n92.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2020.

REIS, J. B. A. **A Arquitetura Metodológica de Michael Faraday**. 2006. 124 f. Tese (Doutorado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://tede.pucsp.br/bitstream/handle/13360/1/HCS%20-%20Joao%20Batista%20Alves%20dos%20Reis.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2020.

ROSA, C. A. P. **História da ciência**: a ciência e o triunfo do pensamento científico no mundo contemporâneo. Brasília, DF: FUNAG, 2012. v. 3. Disponível em: http://funag.gov.br/loja/download/1022-Historia_da_Ciencia_-_Vol.III_-_A_Ciencia_e_o_Triunfo_do_Pensamento_Científico_no_Mundo_Contemporaneo.pdf. Acesso em: 28 dez. 2020.

ROSMORDUC, J. **De Tales a Einstein**: História da Física e da química. Lisboa: Editorial Caminho, 1983.

SAA, A. 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://www.scielo.br/pdf/rbef/v38n4/1806-1117-rbef-38-04-e4201.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2020.

SANTI, N. S. M. **Termodinâmica de buracos negros de Schwarzschild**. 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/10384>. Acesso em: 14 jan. 2021.

SCHWARZSCHILD, K. On the Gravitational Field of a Mass Point according to Einstein's Theory. **ArXiv**, 13 jan. 1916a. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/physics/9905030.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

SCHWARZSCHILD, K. Über das Gravitationsfeld einer Kugel aus inkompressibler Flüssigkeit nach der Einsteinschen Theorie. **Wikisource**, 24 fev. 1916b. Disponível em: https://de.wikisource.org/wiki/Gravitationsfeld_einer_Kugel_aus_inkompressibler_Fl%C3%BCssigkeit. Acesso em: 30 dez. 2020.

SILVA, H. C. O que é divulgação científica? **Revista Ciência & Ensino**, v. 1, n. 1, p. 53-59, dez. 2006.

SNOW, C. P. **As duas culturas e uma segunda leitura**: uma versão ampliada das duas culturas e a revolução científica. São Paulo: EDUSP, 2015.

SOLBES, Jordi; PALOMAR, Rafael. Dificultades en el aprendizaje de la astronomía en secundaria. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 1401, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n1/v35n1a16.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2020.

STANNARD, R. **Relatividade**. Porto Alegre, RS: LP & M, 2011.

TORRESI, Susana I. Córdoba de; PARDINI, Vera L.; FERREIRA, Vítor F. Sociedade, divulgação científica e jornalismo científico. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 447, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v35n3/01.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2020.

TYLOR, E. B. **A ciência da cultura**. Rio de Janeiro: Zahar, 2014.

VERDET, J.-P. **Uma História da Astronomia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1991.

VOELZKE, M. R.; MACÊDO, J. A. Aprendizagem Significativa, objetos de aprendizagem e o ensino de astronomia. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 11, n. 5, p. 1-19, 2020. Disponível em: <http://revistapos.cruzeirosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/2726>. Acesso em: 14 jan. 2021.

WHITE, M. **Rivalidades Produtivas**. Rio de Janeiro: Record, 2003.

WOLCHOVER, N. Colliding black holes tell new story of stars. **Quanta Magazine**, 6 set. 2016. Disponível em: <https://www.quantamagazine.org/colliding-black-holestell-new-story->

João Pereira NETO e Ricardo Roberto Plaza TEIXEIRA

of-stars-20160906. Acesso em: 20 dez. 2020.

ZANETIC, J. Física e cultura. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, p. 21-24, São Paulo, jul./set. 2005. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v57n3/a14v57n3.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2020.

ZANETIC, J. Física e arte: uma ponte entre duas culturas. **Pro-posições**, v. 17, n. 1 (49), p. 39-57, jan./abr. 2006. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/proposic/article/view/8643654>. Acesso em: 19 dez. 2020.

Sobre os autores

João Pereira NETO

Licenciando em Matemática pelo IFSP-Caraguatatuba, SP.

Ricardo Roberto Plaza TEIXEIRA

Doutor em Física pela USP e Professor Titular do IFSP-Caraguatatuba.

| 20

Processamento e editoração: Editora Ibero-Americana de Educação.

Revisão, formatação, normalização e tradução.