



**ESCOLA LOURENÇO CASTANHO**

**PROJETO CIENTÍFICO**

**BURACOS NEGROS: UM ESTUDO SOBRE O CAOS**

**Anita Bertero Cocco**

**Juliana Achur Genta**

**Jorge Valle**

**São Paulo**

**Novembro de 2022**

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo sistematizar, de um modo acessível e didático, conceitos da astronomia e astrofísica, como buracos negros, tecido do espaço tempo e o comportamento da matéria sobre esse tecido. Além disso, apresentar parte das teorias e modelos mais aceitos pela comunidade científica que buscam explicar o nosso universo, de modo a torná-los mais acessíveis de forma generalizada.

Palavras-chave: Buracos negros, força gravitacional, divulgação científica, física moderna, democratização da ciência.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>3. JUSTIFICATIVA</b>	<b>6</b>
<b>4. REVISÃO TEÓRICA</b>	<b>8</b>
<b>5. METODOLOGIA</b>	<b>15</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>17</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b>	<b>18</b>
<b>8. APÊNDICES</b>	<b>20</b>
8.1 Folheto	20

## 1. INTRODUÇÃO

Buracos negros apresentam para a comunidade científica um grande mistério. Tais corpos podem ser descritos como uma massa extremamente densa de matéria que exerce uma gigantesca força gravitacional, ocasionando a adição, à massa do buraco negro, de todo o objeto que adentrar a sua órbita.

O conceito de buracos negros foi primeiramente encontrado como uma solução da Relatividade Geral por Karl Schwarzschild, astrônomo e físico alemão, e posteriormente entendido como uma região do espaço pelo físico americano David Finkelstein.

Primordialmente, cabe explicar que buracos negros são formados da morte de uma estrela. Essa estrela deve ter uma massa 25 vezes maior do que a massa do sol ( $1,98892 \times 10^{30}$  quilogramas), e só se tornará um buraco negro quando todos os átomos em seu núcleo tiverem se esgotado, o que fará com que a força da expansão gasosa “perca” para a força gravitacional e o corpo restante se encolha até formar uma singularidade, ou o centro de um buraco negro.

Estrelas são formadas a partir de nebulosas que colapsam devido à gravidade interna. Durante o colapso, a energia potencial gravitacional atrelada ao gás é convertida em energia térmica interna, o que aquece a região central da nebulosa e, por consequência, aumenta a pressão interna, contrabalançando a

gravidade. Tal energia é suficiente para suprir a estrutura da estrela por cerca de 15 milhões de anos, até que elas precisem de uma maior fonte energética para manter um equilíbrio com a gravidade. Nesse período, portanto, necessita-se das fusões nucleares, que convertem a energia dos núcleos atômicos em luz e calor.

Para além disso, tem-se o supracitado conceito como de extrema indagação e investigação científica, o que o configura como um dos grandes mistérios que pode vir a solucionar questões como, por exemplo, a origem do universo.

Dessa forma, encontra-se como foco de pesquisa toda a evolução científica que levou à interpretação contemporânea dos buracos negros, assim como os meios pelos quais tal conceito torna-se de suma importância para o esclarecimento acerca do funcionamento do universo.

## 2. OBJETIVOS

O universo é um tema muito trabalhado em filmes e na mídia, porém poucas informações verdadeiras realmente chegam ao público, sendo trabalhadas com suposições e fantasias que atraem facilmente qualquer um interessado por ficção científica. Foi especulado pelo grupo que uma grande parte da população não tem acesso a informações que mostram como o universo funciona fora das telas do cinema, então tomou-se como objetivo desse projeto trazer, de forma didática, as teorias e conceitos desenvolvidos ao longo dos anos por pesquisadores que buscam explicar o funcionamento do universo e o que o compõem e, assim, mostrar que a realidade é muito mais complexa, porém tão interessante quanto o que é retratado em obras midiáticas.

Dessa forma, optou-se pela realização de pesquisas que possam, quando unificadas, explicar o fenômeno dos buracos negros, que, apesar de conhecidos, são pouco explorados pela comunidade científica. Para trazer as informações coletadas ao longo dos anos por cientistas, criou-se modelos práticos em conjunto de um breve manual, pelos quais almeja-se deixar o projeto dinâmico e tateável, tendo em mente que os conceitos apresentados podem ser muito abstratos para serem explicados apenas com palavras.

Ainda, pensa-se na implementação dos modelos criados dentro de salas de aulas, com o objetivo de aproximar a astrofísica e, principalmente, os buracos negros, de alunos por todo o território nacional.

### 3. JUSTIFICATIVA

Inúmeras informações sobre o mundo fora da terra são desconhecidas para a humanidade. Por outro lado, muitas das descobertas acerca do tema são mantidas fora do alcance da população geral, tanto por serem complexas, quanto pela falta de divulgação. Portanto, trazer uma parcela dos conhecimentos da astronomia e da física moderna de um modo didático e tangível, irá possibilitar que tais áreas deixem de ser mera ficção e se tornem concretas perante os olhos públicos, os estimulando a entender e não se intimidar pela vastidão desconhecida de um universo que existe para além de nós.

Almeja-se, neste trabalho, apresentar hipóteses e seus desenvolvimentos ao longo dos anos pelas mentes dos mais variados cientistas, com o objetivo de contextualizar o tema para que, de novo, o assunto não pareça tão abstrato e fora de alcance. Assim possibilitando que o público fique informado não só com os fatos conhecidos, mas com processo de descobrimento deles pela sociedade científica.

Sendo assim, busca-se evidenciar na apresentação a constante mudança que permeia esse assunto, desde sua inicial presença na mente de cientistas por conta das mais variadas pesquisas e descobertas que foram e ainda serão feitas. E, com isso, apontar que o universo, especialmente os buracos negros, são um campo ainda pouco explorado por conta das barreiras tecnológicas e físicas que nos mantém a milhares de quilômetros do objeto de estudo, mas que é uma área muito interessante a espera de novas mentes para compreender seus mistérios e por isso,

as descobertas já feitas devem ser passadas para qualquer um que apenas se interesse ou ainda que possa colaborar com novas buscas por teorias que explicam o cosmos.



#### 4. REVISÃO TEÓRICA

Deu-se início ao projeto com leituras variadas sobre o tema, para que se estabelecesse uma base ampla de conhecimento para traçar um objetivo e foco específico. Dois livros foram como disparadores do tema, “O COLAPSO DO UNIVERSO” de Isaac Asimov e “HAWKING E OS BURACOS NEGROS Em 90 minutos” de Paul Strathern . Na primeira obra, Asimov discorre sobre a origem do universo e os elementos que o compõem, como, por exemplo, a estrutura dos fótons. Acerca do tema, o cientista escreve:

Os fótons têm massa zero quando em repouso e, por conseguinte, não atuam como fonte de um campo gravitacional nem reagem a um campo gravitacional de maneira ordinária. Contudo, os fótons nunca estão em repouso, mas viajam (num vácuo) a uma determinada velocidade precisa: 299.752.458 m/s. (Da mesma forma que todas as demais partículas sem massa). Ao viajarem a essa velocidade, os fótons possuem certas energias; e ainda que a ação de um corpo gravitacional não possa alterar a velocidade dos fótons no vácuo (nada o pode fazer), ela pode modificar a direção em que a luz viaja e reduzir a energia. (ASIMOV. 1981, p. 64)

O supracitado trecho é extremamente importante para a introdução ao conceito de velocidade da luz que, por sua vez, é essencial para a compreensão dos buracos negros e dos seus efeitos sobre o espaço ao seu redor.

Em “HAWKING E OS BURACOS NEGROS Em 90 minutos”, por sua vez, Strathern discorre sobre a vida de Stephen Hawking, desde seu nascimento, passando pela adolescência e admissão na faculdade de Oxford aos 17 anos e pelo diagnóstico de Esclerose Lateral Amiotrófica (E.L.A). O autor então passa pelo desenvolvimento acadêmico de Hawking e de teorias formuladas anos antes e aproveitadas pelo físico, passando por outros cientistas como Robert Oppenheimer, Roger Penrose e o astrônomo Fred Hoyle. Mais para o fim do livro, o astrônomo Karl Schwarzschild é introduzido em conjunto com John Wheeler para explicar o que foi utilizado por Hawking como o Raio de Schwarzschild e a teoria de Wheeler sobre os buracos negros “não terem cabelos”,

Wheeler, de fato, iria ainda mais longe, a ponto de batizar esse ‘objeto completamente colapsado gravitacionalmente’: ele o chamaria ‘buraco negro’. (...) Wheeler sustentava que era possível descrever o que acontecia num buraco negro. (STRATHERN. 1998, p.36)

Com as informações reunidas por todos os cientistas apresentados, o autor traz a explicação da formação de um buraco negro com as fórmulas que foram parte da descoberta, da seguinte forma: toda estrela que ocupa um lugar no espaço tem uma força gravitacional ( $f_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$ ) exercida sobre ela, uma gravidade em sua superfície ( $g = \frac{G \cdot M}{r^2}$ ) e uma força exercida pela pressão dos átomos em seu núcleo. Ao longo da vida da estrela, essas forças ficam em perfeita harmonia sustentando o corpo da estrela no espaço. Tal harmonia configura-se como o equilíbrio hidrostático de uma estrela, que, por sua vez, define-se como:

“A maioria das estrelas, como o Sol, não se expandem nem se contraem. Elas mantêm seu tamanho estável. Isso implica que a pressão em cada ponto no interior da estrela compensa a pressão gravitacional causada pelo peso do material acima do ponto. A estrela é um objeto auto-gravitante.” (SANTIAGO, Basílio *et al.* Estrutura estelar. Orientador: Angelo Fausti Neto. 2010. 11 f. TCC (Graduação) - Curso de Astronomia, UFRGS, OEI , 2010. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct\\_st.htm](https://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct_st.htm). acesso em: 27 set. 2022.)

Além disso, também tem-se o equilíbrio térmico, que se define como:

“A energia produzida no caroço central da estrela a partir de reações termonucleares é igual à energia que a estrela perde na forma de radiação eletromagnética (luz).” SANTIAGO, Basílio *et al.* Estrutura estelar. Orientador: Angelo Fausti Neto. 2010. 11 f. TCC (Graduação) - Curso de Astronomia, UFRGS, OEI , 2010. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct\\_st.htm](https://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct_st.htm). acesso em: 27 set. 2022.)

Porém, quando os átomos em seu núcleo, utilizados como combustível pela estrela, se esgotam, a força gravitacional se opõe a força que o núcleo da estrela exercia e o corpo da estrela colapsa sob si mesmo, resultando em um buraco negro com os restos da estrela formando um ponto de densidade infinita em seu centro, nomeado por Wheeler, de singularidade.

Já a questão explicada por Schwarzschild em suas pesquisas, é que nem toda estrela irá se tornar um buraco negro. Ela precisa de uma massa 25 vezes maior que a massa do nosso sol, para que seu raio de Schwarzschild seja alcançado. Basicamente, esse raio é formado pela junção de duas das equações principais

descobertas por astrônomos ao longo do tempo, a fórmula da velocidade de escape, que indica a que velocidade um corpo precisa estar para escapar da atmosfera de determinado objeto e a fórmula da gravidade, que determina a quantidade de força que a atmosfera de um objeto exerce sobre determinado corpo. Abaixo estão as equações e seus métodos de dedução.

A partir das equações das energias cinética ( $\frac{m \cdot v^2}{2}$ ) e potencial gravitacional ( $m \cdot g \cdot h$ ) e usando os princípios da conservação de energia é possível definir a fórmula da velocidade de escape:

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

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

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

Finalmente, a partir da equação da velocidade de escape, é possível deduzir a fórmula do raio de Schwarzschild:

$$Ve = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}} \longrightarrow Rs = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$$

### Legenda:

- $m$ : massa menor –  $kg$
- $g$ : gravidade –  $\frac{m}{s^2}$
- $v$ : velocidade –  $\frac{m}{s}$
- $h = r$  – metro
- $G$ : cons. gravitacional ( $6,67 \cdot 10^{-11}$ )
- $M$ : massa maior –  $kg$
- $Ve$ : velocidade de escape –  $\frac{m}{s}$
- $c$ : velocidade da luz ( $299.792.458 \frac{m}{s}$ )
- $R_s$ : raio de Schwarzschild – metros

Com o avanço das leituras, descobriu-se inúmeras informações sobre o cosmos que não chegariam ao nosso alcance caso o projeto tivesse tomado outro rumo. Então, estando próximas ao recorte temático, mais leituras foram feitas, como o artigo científico “BLACK HOLES AND THE SECOND LAW” de Jacob Bekenstein e

livros como “BREVES RESPOSTAS PARA GRANDES QUESTÕES” de Stephen Hawking

Com isso, formulou-se uma definição para esses corpos supermassivos: Concluímos que um buraco negro é, em sua origem, nada mais do que restos mortais de uma estrela massiva e, que, por sua imensa densidade e puxão gravitacional, causa distúrbios no tecido do espaço tempo, gerando ondas gravitacionais ao agregar objetos a sua massa e criando, portanto, um caminho direto ao seu horizonte de eventos para qualquer corpo que se aventure por perto.

Vale acrescentar, como importante agente na história da teorização dos buracos negros, o projeto LIGO (Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser), que é focado em captar e traduzir ondas gravitacionais que transitam pelo tecido espacial. O LIGO foi fundado em 1992 e foi o primeiro aparelho a conseguir captar ondas gravitacionais que viajam pelo espaço, corroborando, assim, a teoria proposta por Einstein de que tais ondas seriam deformações no tecido do espaço-tempo.

Ao captar diferentes ondas gravitacionais, o LIGO ajudou a consolidar as noções de existência dos buracos negros e, ao trazer dados de supernovas, estrelas de neutrons e muitos fenômenos que, até então, eram apenas teorizados, o projeto permitiu que cientistas conseguissem diferenciar as ondas entre si. Tal diferenciação é dada a partir do comprimento e da frequência da onda recebida pelo LIGO, e para receber essas ondas e transmiti-las, o aparelho funciona como um tradutor, tendo duas antenas com lasers super sensíveis que ficam apontados para o espaço.

Quando uma onda no espaço passa pelo planeta Terra, o LIGO registra seu efeito, recebendo o laser de volta para o planeta com a mesma frequência e comprimento da onda que entrou em contato com ele, então instalação que fica no estado da Luisiana nos Estados Unidos, traduz a informação para uma unidade de medida que nós conhecemos, os Hertz (Hz), funcionando quase como um amplificador de uma guitarra elétrica.

Em 2016, o LIGO captou uma onda gravitacional vinda de aproximadamente 1.3 bilhões de anos luz da terra, originada do impacto entre dois buracos negros, um com a massa 36 vezes maior que a do sol e o outro com massa 29 vezes maior que a do sol. Os dois colidiram e formaram um buraco negro com uma massa cerca de 62 vezes maior que a do nosso sol, causando uma liberação de energia  $10^{31}$  vezes maior que a bomba termonuclear mais potente já usada na Terra. Os dados que o aparelho leu foram de ondas que variavam de 30 Hz por segundo, correspondendo ao buraco negro de menor massa realizar 15 vezes a órbita do de maior massa, até 250 Hz por segundo, quando o menor buraco negro realizou as 5 últimas órbitas, que os levaram a colidir e se fundir em uma velocidade que atingiu a metade da velocidade da luz.

## 5. METODOLOGIA

O projeto terá como foco a divulgação científica, e construiremos modelos visuais e funcionais para representar o tecido espaço-tempo, buracos negros, alguns fenômenos de natureza astronômica e, por fim, como um buraco negro ocupa parte do espaço.

Para a construção da apresentação de slides, foram utilizados diversos artigos científicos, de cunho profissional e universitário, além de livros e outros tipos de obras acerca do assunto. Com isso, visa-se a consolidação de uma base de pesquisa confiável, que caminhe para a teoria de maior aceitação na comunidade científica.

Com o intuito de achar materiais acadêmicos pertinentes à pesquisa, foram essenciais indicações do orientador, assim como ampla pesquisa sobre os meios midiáticos já produzidos que englobam a extensa natureza de ambiguidades do tema. Fez-se uso de recursos tecnológicos para todas as partes do projeto, mas, principalmente, para a montagem dos modelos.

Para a feitura de modelos práticos, utilizou-se uma cortadora a laser e uma impressora 3d, os quais possibilitaram melhor visualização do cenário que se desejava representar.



Durante a construção de um modelo que pudesse representar a radiação Hawking de modo visual, realizou-se a construção de um circuito elétrico simples, que acende quando um pedaço de matéria é “engolido” pelo buraco negro, tendo a luz como representação didática da radiação.

Para além disso, construiu-se uma mesa que representa, por meio de um pano, o tecido do espaço-tempo.



Ainda imprimiu-se dois modelos com a impressora 3d, visando representar um buraco de minhoca e um horizonte de eventos.

Por fim, redigiu-se um guia em forma de livreto para todos os modelos supracitados, de modo a torná-los viáveis para a utilização em outros meios acadêmicos e, por consequência, promover maior conhecimento sobre o tema.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área da astronomia ainda tem muito para ser explorado, mesmo que inúmeras mentes brilhantes já tenham contribuído com teorias e descobertas, o universo ainda é um amplo campo de estudos e pesquisas cheio de questões a serem respondidas. Além disso, muitos conceitos já definidos pela comunidade científica escapam do conhecimento superficial das pessoas e ficam reservados apenas para aqueles que têm acesso a ele de forma profissional ou acadêmica.

Após a elaboração do relatório e dos protótipos, foi concluído que, apesar de buracos negros serem um tema de difícil entendimento, com ajuda de elementos visuais e explicações acessíveis, que se estendam para além de fórmulas matemáticas e conceitos elaborados de astrofísica, o tema se desenvolve mais claramente.

Isso, portanto, corrobora o importante papel da divulgação científica para que o meio de tais pesquisas se torne mais democratizado e palatável para todos, o que pode, a longo prazo, gerar jovens com grande interesse pelos assuntos supracitados. Com isso em mente, foi elaborado um folheto com o objetivo de esclarecer o funcionamento e o método de construção dos protótipos, além de realizar uma introdução ao projeto. Tal folheto será distribuído para a banca e para a platéia na data da apresentação.

Sendo assim, fica clara a importância de disponibilizar o material criado para diversas instituições acadêmicas, de forma a permitir o ensino didático e acessível de temas que escapam à instância do cotidiano.

## 7. REFERÊNCIAS

- 1. ASIMOV, Isaac. O COLAPSO DO UNIVERSO. 4 ed. São Paulo: FRANCISCO ALVES, 1981.
- 2. CARSO, Francisco, FREITAS; Nilton. FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: O ESPAÇO TEMPO DE EINSTEIN EM TIRINHAS, 2009.

- Data de acesso: 22/03/2022

3. LOOS, Pedro. O ESPAÇO-TEMPO EXPLICADO. Youtube, 19/11/2019. Disponível em: <https://youtu.be/kJ5xNaSleTI>

4. FLEMMING, Henrique. O TEMPO NA FÍSICA, 1989.

Data de acesso: 24/03/2022

5. HAWKING, Stephen. 1ed. BREVES REPOSTAS PARA GRANDES QUESTÕES. Rio de Janeiro: INTRÍSECA, 2018

6. ZABOT, Alexandre. ASTROFÍSICA GERAL - TEMA 20: GALÁXIAS ATIVAS, 2018

7. GREENE, Brian. UNIVERSO ELEGANTE. 1 ed. São Paulo: COMPANHIA DAS LETRAS, 2001.

8. STRATHERN, Paul. HAWKING E OS BURACOS NEGROS EM 90 MINUTOS. 1 ed. Rio de Janeiro: ZAHAR, 1998

9. HAWKING, Stephen. BURACOS NEGROS: PALESTRA DA BBC REITH LECTURES. 1 ed. Rio de Janeiro, 2016.

10. BURACOS NEGROS, UFRGS. Disponível em:

<https://videos.ufrgs.br/ufrgstv/pesquisa-em-pauta/buracos-negros-tttt/view>.

Acesso em 27 março 2022.

11. BEKENSTEIN, Jacob. BLACK HOLES AND THE SECOND LAW, 1970.

12. CASTELVECCHI, D ; Whitze, A. Einstein's gravitational waves found at last. Nature, 2016. <https://www.nature.com/articles/nature.2016.19361>

Acesso em: 19/08/2022

13. CASTELVECCHI, D. The black-hole collision that reshaped physics. Nature, 2016. <https://www.nature.com/articles/531428a> Acesso em: 20/08/2022.

## 8. APÊNDICES

### 8.1 Folheto

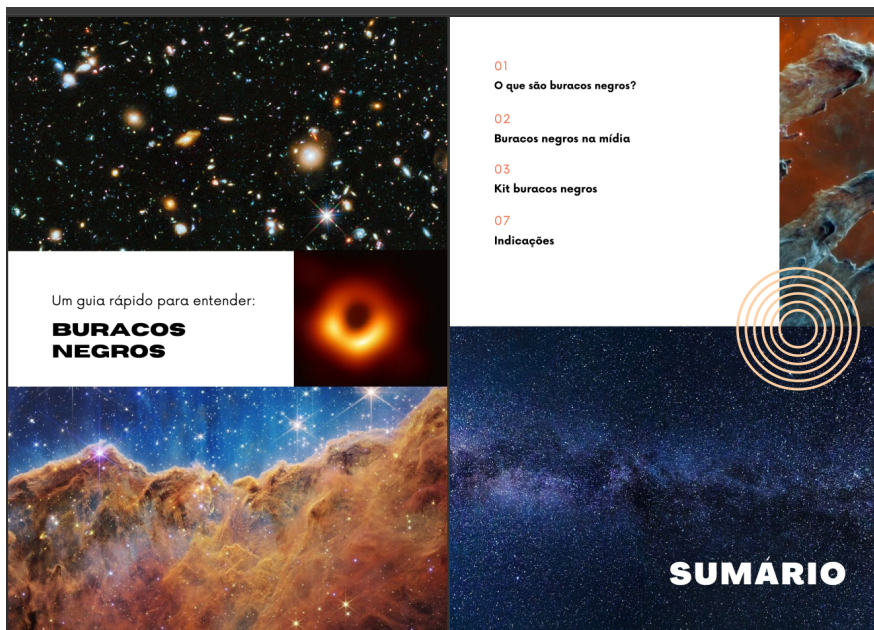


Figura 1. Páginas 1 e 2 do folheto

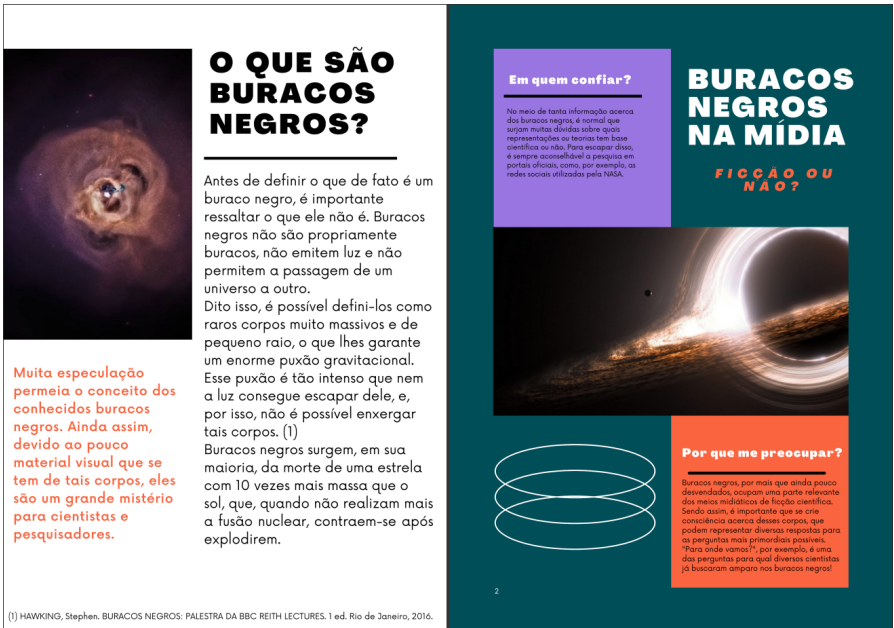


Figura 2. Páginas 3 e 4 do folheto.



Figura 3. Páginas 5 e 6 do folheto.



Figura 4. Páginas 7 e 8 do folheto.

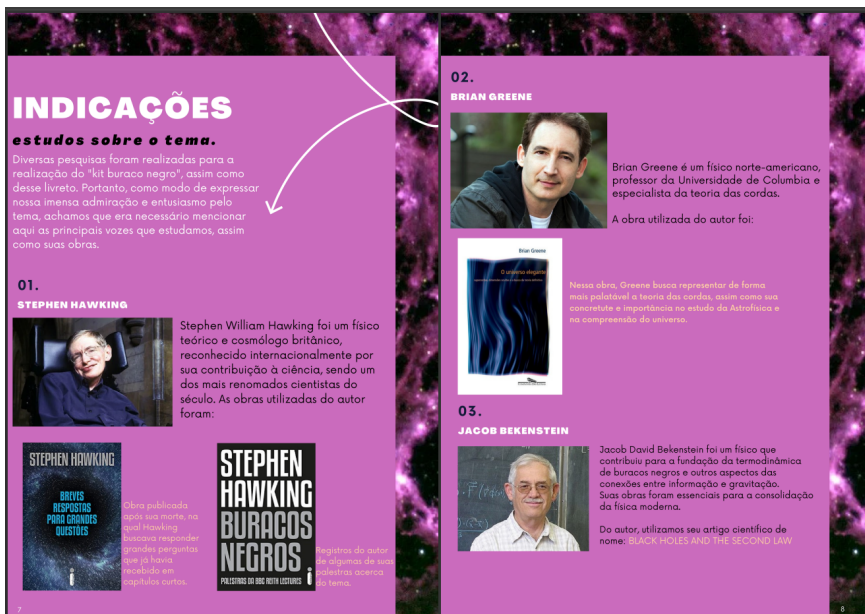


Figura 5. Páginas 9 e 10 do folheto.



**Figura 6.** Páginas 11 e 12 do folheto.