



Coordenação de Armindo Rodrigues

## Autor:

Margarida Lima  
Cláudio Gomes

## Buracos Negros: Explorando os Limites do Espaço-Tempo

Os buracos negros são dos fenómenos mais fascinantes do Universo. Desafiam a nossa compreensão da física e ilustram os princípios da **Teoria da Relatividade Geral**, de Albert Einstein. Explorar buracos negros permite-nos vislumbrar como o cosmos funciona em escalas extremas, com objetos tão massivos que nada, nem mesmo a luz, consegue escapar à sua atração gravitacional. Para os compreender é crucial entender a relação entre gravidade, massa e espaço-tempo, segundo a Relatividade Geral.

A Teoria da Relatividade Geral revolucionou a nossa compreensão do Universo ao mostrar que o espaço e o tempo não são entidades independentes, fixas e imutáveis, mas uma única estrutura flexível e deformável. Podemos imaginar o espaço-tempo como uma superfície elástica: quando colocamos um objeto sobre ela, em resposta a superfície curva-se. De forma análoga, os corpos massivos do universo geram uma curvatura no tecido do espaço-tempo ao seu redor. Assim, um buraco negro representa uma distorção extrema, onde a curvatura se torna tão acentuada que nada lhe consegue escapar.

Os buracos negros surgem de várias formas, mas o mais comum é no fim de vida de uma estrela massiva, sendo neste caso designados **buracos negros estelares**. Quando uma estrela queima todo o combustível nuclear, deixa de conse-

guir sustentar o equilíbrio entre a gravidade que a comprime e a pressão gerada pela fusão nuclear. Assim, a gravidade vence e a estrela colapsa em si mesma criando, dependendo da sua massa, uma **singularidade**: um ponto de densidade infinita onde as leis da física, como as conhecemos, deixam de funcionar. Ao seu redor, existe uma região chamada **horizonte de eventos**, que pode ser vista como uma fronteira cósmica que marca um ponto sem retorno.

Existem também **buracos negros supermassivos**, encontrados no centro de galáxias, incluindo a Via Láctea. Estes são gigantes astrofísicos que desempenham um papel crucial no equilíbrio gravitacional das suas galáxias, regularizam o ambiente ao seu redor, controlando o fluxo de gás, poeira e estrelas próximas. Quando o material cai em direção ao buraco negro, forma-se um disco de acreção que pode libertar jatos de energia incrivelmente potentes. Estes jatos, por sua vez, aquecem e dispersam o gás ao redor, impedindo a formação excessiva de estrelas e ajudando a moldar a galáxia. Todo este equilíbrio mantém as galáxias "ativas", em escalas de tempo cósmicas, determinando o seu crescimento, a sua forma e até o ritmo de formação estelar.

Outro tipo de buracos negros são os chamados **buracos negros primordiais**. São objetos hipotéticos que se teriam formado nos primeiros instantes do universo, devido a flutua-

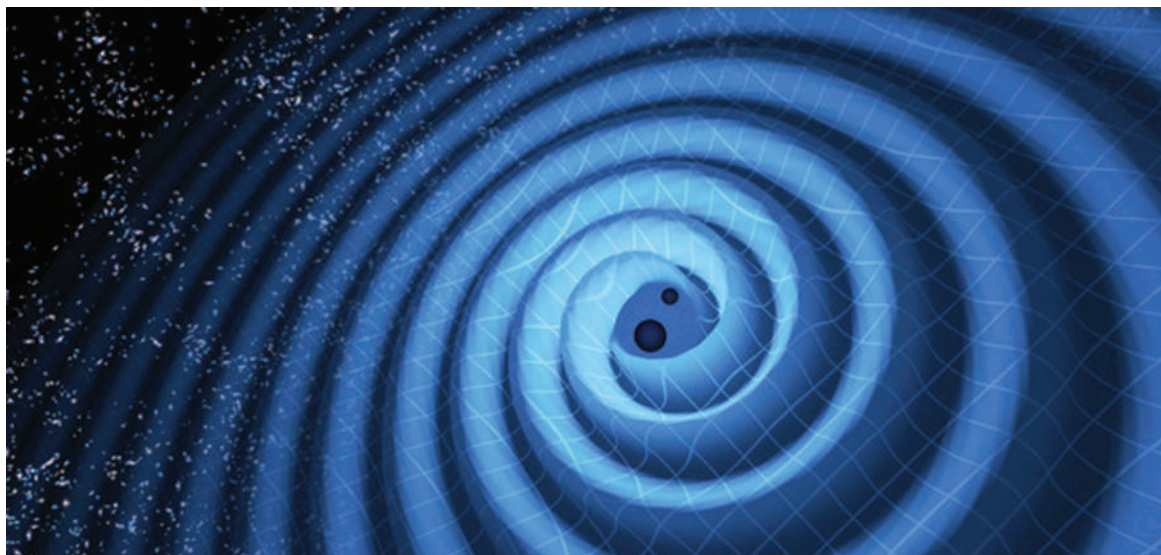


Fig. 1. Ilustração da fusão de dois buracos negros e as ondas gravitacionais geradas pela sua dança espiral. Créditos: LIGO/T. Pyle.

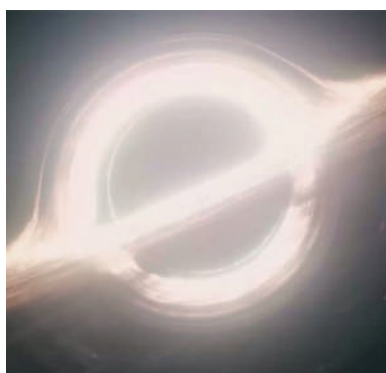
Coordenação de Armindo Rodrigues



Fig. 2. Primeira imagem da sombra de um buraco negro no centro da galáxia *Messier 87* pelo *Event Horizon Telescope*. Créditos: *Event Horizon Telescope Collaboration*.

ções extremas na densidade de matéria primordial. Estes buracos negros poderiam variar em tamanho e são potenciais candidatos a explicar a matéria escura, uma componente misteriosa que compõe grande parte da massa do universo. Embora os buracos negros sejam invisíveis, podemos detetar os seus efeitos no espaço ao seu redor. Um método de deteção é por meio de **ondas gravitacionais**: ondulações no tecido do espaço-tempo geradas pela violenta colisão de, por exemplo, dois buracos negros, num processo espiral de aproximação e fusão final. Embora imperceptíveis na vida quotidiana, instrumentos com extraordinária sensibilidade, como o LIGO e o Virgo, conseguem senti-las. A primeira deteção aconteceu em 2015 e tornou-se uma descoberta revolucionária, confirmando as previsões teóricas de Einstein um século antes. Em maio de 2019, a humanidade teve a sua primeira visão direta de um buraco negro, localizado no centro da galáxia *Messier 87*, a cerca de 55 milhões de anos-luz da Terra.

Esta imagem histórica tornou-se possível graças ao *Event Horizon Telescope*, que revelou uma "sombra" circular cercada por um anel brilhante de luz, resultante da radiação emitida pelo gás superaquecido ao redor do buraco negro. E o que acontece dentro de um buraco negro? A física que conhecemos deixa de funcionar na singularidade e deixamos de ter acesso ao que acontece além do horizonte de eventos. Outra questão em aberto, **O Paradoxo da Informação**, discute o que acontece à informação sobre a matéria que é absorvida. A física quântica sugere que a informação não pode ser destruída, no entanto os buracos negros parecem apagá-la do universo. Resolver este paradoxo poderá conduzir-nos, no futuro, a uma teoria unificada da gravidade quântica. Os buracos negros simbolizam o desejo humano em explorar o desconhecido e constituem um gentil lembrete de que o universo ainda guarda segredos, mostrando-se vasto e misterioso.



## Buracos Negros em Teorias Além de Einstein

Foi publicado na revista *Universe* um estudo de buracos negros em teorias com conexão de Weyl acopladas não minimamente, onde diferenças em relação à Relatividade Geral foram encontradas quer em vácuo, quer na presença de matéria. Este trabalho insere-se na tese

de doutoramento de M. Margarida Lima, estudante no IST-ULisboa e Okeanos-Universidade dos Açores, e co-orientada por Cláudio Gomes, investigador do CF-UM-UP e do Okeanos- Universidade dos Açores. (<https://www.mdpi.com/2218-1997/10/11/433>)