



## BURACOS DE MINHOCA DE CASIMIR: UMA CONEXÃO ENTRE GRAVITAÇÃO E QUÂNTICA?

Pedro Henrique Ferreira De Oliveira<sup>1</sup>  
Ricardo Renan Landim<sup>2</sup>

### RESUMO

Neste estudo, exploramos as soluções de buracos de minhoca na Relatividade Geral, concentrando-nos nas conexões geradas pela energia de Casimir. Utilizamos uma metodologia que eleva a distância característica da energia de Casimir ao status de coordenada fundamental e estabelece uma equação de estado homogênea para a pressão radial. Isso nos permitiu derivar as funções de redshift e de shape, representando os graus de liberdade em uma métrica do tipo Morris-Thorne. A função de redshift foi um ponto crucial, garantindo que ela permanece finita em todos os pontos do espaço-tempo, eliminando horizontes. Determinamos a função de shape, definindo a configuração geométrica do buraco de minhoca, e impusemos a "condição de flare-out" para garantir a finitude da pressão. Descobrimos que, com a fixação adequada das constantes, é possível eliminar horizontes tanto na garganta quanto nas regiões assintóticas, resultando em uma função de redshift finita em todo o domínio especificado. A equação de conservação do tensor momento-energia nos permitiu obter a pressão tangencial, demonstrando que é viável construir soluções atravessáveis exclusivamente com o uso do campo de Casimir. Em resumo, este estudo representa um avanço significativo no entendimento dos buracos de minhoca gerados pela energia de Casimir, com implicações potenciais em aplicações astrofísicas, abrindo novas perspectivas nesse campo da física teórica.

**Palavras-chave:** relatividade geral; efeito casimir; buracos de minhoca; solução de Morris-Thorne.

---

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Física, Discente, pedrooliveira@fisica.ufc.br<sup>1</sup>  
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Física, Docente, rrlandim@ufc.br<sup>2</sup>



## INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos da Física contemporânea reside na busca pela unificação de todas as interações fundamentais da natureza em um único arcabouço teórico. As abordagens mais bem-sucedidas levaram à concepção do Modelo Padrão das partículas elementares, que promove a união de três das quatro forças fundamentais: o eletromagnetismo, juntamente com as forças nucleares forte e fraca. Essas forças compartilham a característica comum de serem adequadamente descritas através do processo de quantização, conforme prescrito pela Teoria Quântica de Campos.

A interação gravitacional, por outro lado, encontra-se diante de limitações físico-matemáticas que a impossibilitam de ser completamente unificada como uma teoria quântica e relativística simultaneamente. O principal obstáculo reside na não normalizabilidade da Teoria Gravitacional. Nesse contexto, emerge uma linha de pesquisa intensiva e contemporânea na busca pelo desenvolvimento da chamada 'Gravitação Quântica'.

A teoria gravitacional amplamente aceita na atualidade é a Teoria da Relatividade Geral, concebida pelo físico teórico alemão Albert Einstein em 1915 (RINDLER, 2006). Essa teoria, juntamente com a sua versão restrita, reconfigura paradigmas fundamentais da Física Clássica, ao não mais considerar o tempo como um parâmetro absoluto para a medição da evolução dos sistemas físicos, mas sim como a quarta dimensão de um "espaço" de maior dimensão que interage com os fenômenos físicos e é por eles afetado. A interação gravitacional é, portanto, compreendida como a resultante da curvatura do tecido do espaço-tempo, onde as trajetórias retas, ou geodésicas, tornam-se curvas (WALD, 2009). Essa abordagem explica fenômenos como a deflexão da luz por objetos massivos, que representa uma das evidências experimentais mais fundamentais da teoria. Tal comprovação experimental foi realizada em Sobral, no estado do Ceará, e figura como um marco notável na validação da Teoria da Relatividade Geral.

Um dos resultados mais fascinantes proporcionados por essa teoria é a concepção dos buracos negros, cujas soluções foram desenvolvidas pelo físico Karl Schwarzschild em 1916, durante o período da Primeira Guerra Mundial. Esses objetos caracterizam-se por sua densidade extraordinária, onde os efeitos de dilatação temporal tornam-se notavelmente divergentes à medida que um observador se aproxima deles (SCHWARZSCHILD, 1916). Essas soluções não se limitam a meras conjecturas teóricas, mas foram confirmadas experimentalmente por meio de observações fotográficas realizadas pelo Event Horizon Telescope (AKIYAMA, 2019).

Outra solução teoricamente prevista pela Relatividade Geral, embora ainda careça de confirmação experimental, refere-se aos buracos de minhoca. Essas soluções representam conexões entre pontos distintos do espaço-tempo, ou até mesmo entre pontos em espaços-tempo diferentes (VISSER, 1995). Elas têm sido cogitadas como uma potencial forma de realizar viagens interestelares em tempos finitos, o que é um dos mais arrojados anseios tecnológicos da humanidade.

Neste trabalho, abordaremos a discussão das soluções relacionadas aos buracos de minhoca na estrutura da Relatividade Geral, com foco específico naqueles gerados pela energia de Casimir. Essa análise permitirá estabelecer uma conexão significativa entre os domínios da Gravitação e da Física Quântica.

## METODOLOGIA

As soluções de buracos de minhoca do tipo Morris-Thorne, que são estáticas e possuem simetria esférica, exigem um tipo específico de matéria para sua formação, que viola quase todas as condições de energia estipuladas pela Relatividade Geral (MORRIS; THORNE, 1988). Essa fonte de matéria em questão exibe uma



resistência à pressão maior do que sua energia total, sendo, portanto, categorizada como uma fonte de matéria exótica. Uma das propriedades notáveis dessa classe de matéria é sua densidade energética negativa.

Em certos regimes, os campos quânticos podem exibir setores de energia negativa, tornando-se, assim, candidatos altamente promissores para a criação de tais objetos astrofísicos. Um exemplo notável é o campo de Casimir, que tem ganhado crescente reconhecimento na literatura, especialmente após sua confirmação experimental no Experimento de Arquimedes (AVINO; et al, 2019).

A metodologia empregada nesta pesquisa se concentra na elevação da distância característica associada à energia de Casimir ao status de uma coordenada fundamental. Além disso, estabelece uma equação de estado homogênea para a pressão radial, com o objetivo de derivar as funções de redshift e de shape, as quais representam os dois graus de liberdade fundamentais em uma métrica do tipo Morris-Thorne.

A função de redshift desempenha o papel de medir o desvio para o vermelho, e está intimamente relacionada aos efeitos de dilatação temporal. É essencial que essa função permaneça finita em todos os pontos do espaço-tempo, evitando a presença de horizontes (GARATTINI, 2019). Por outro lado, a função de shape é responsável por determinar a configuração geométrica do buraco de minhoca. Portanto, é imperativo que seu valor mínimo coincida com a característica conhecida como a garganta do buraco de minhoca.

Além disso, uma condição auxiliar importante que é imposta é a chamada "condição de flare-out" que assegura que a pressão seja finita (KIM, 2018) e coerente com a condição fraca quântica de energia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das informações relacionadas à energia e à pressão radial de Casimir, conseguimos determinar uma função de shape que atende plenamente às condições necessárias. Isso nos permitiu criar um diagrama de mergulho que revela a forma geométrica precisa do buraco de minhoca.

Por outro lado, o cálculo da função de redshift nos possibilitou fixar as quantidades de interesse físico e determinar o raio da garganta do buraco de minhoca, revelando que ele possui uma escala planckiana. Embora essa escala possa parecer desanimadora, esse resultado era esperado devido à natureza da fonte de energia envolvida.

Essa fixação cuidadosa das constantes permite eliminar a presença de horizontes na garganta e, mediante ajustes apropriados por meio de processos limites, também possibilita a eliminação de horizontes assintóticos (OLIVEIRA; et al, 2022). O resultado desse procedimento é a obtenção de uma função de redshift que permanece finita em todos os pontos do espaço-tempo dentro do domínio especificado.

Além disso, por meio da aplicação da equação de conservação do tensor momento-energia, conseguimos determinar a pressão tangencial associada a esses objetos astrofísicos. Isso demonstra que, exclusivamente com o uso do campo de Casimir, é viável construir soluções de buracos de minhoca que podem ser atravessados.

## CONCLUSÕES

Esta pesquisa revela que, apenas com o campo de Casimir, é possível construir soluções de buracos de minhoca atravessáveis. Este tipo de abordagem, que se baseia na utilização de um tensor de matéria-energia para derivar as componentes da métrica e, assim, obter soluções específicas, tem um forte apelo físico. Afinal, a matéria está em conformidade com as observações da natureza, tornando essa abordagem altamente relevante. Além disso, a geometria resultante desse processo, sujeita a certas restrições, apresenta



uma flexibilidade considerável em suas formas funcionais. Isso explica por que os buracos de minhoca gerados pela energia de Casimir têm conquistado destaque crescente no cenário acadêmico.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro ao longo do Doutorado em Física.

## REFERÊNCIAS

- AKIYAMA, K. et al. First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole. **The Astrophysical Journal**, v. 875, n. 1, p. L1, 10 abr. 2019.
- AVINO, S. et al. Progress in a Vacuum Weight Search Experiment. **Physics**, v. 2, n. 1, p. 1-13, 25 dez. 2019.
- GARATTINI, R. Casimir wormholes. **The European Physical Journal C**, v. 79, n. 11, nov. 2019.
- KIM, S.-W. Flare-out condition of a Morris-Thorne wormhole and finiteness of pressure. **Journal of the Korean Physical Society**, v. 63, n. 10, p. 1887-1891, nov. 2013.
- MORRIS, M. S.; THORNE, K. S. Wormholes in spacetime and their use for interstellar travel: A tool for teaching general relativity. **American Journal of Physics**, v. 56, n. 5, p. 395-412, maio 1988.
- OLIVEIRA, P. H. F. et al. Traversable Casimir wormholes in D dimensions. **Modern Physics Letters A**, v. 37, n. 15, 20 maio 2022.
- RINDLER, W. **Relativity: special, general, and cosmological**. Oxford; New York: Oxford University Press, 2006.
- SCHWARZSCHILD, K. On the Gravitational Field of a Mass Point According to Einstein's Theory. **Sitzungsber.Preuss.Akad.Wiss.Berlin**, p. 189-196, 1916.
- VISSER, M. **Lorentzian Wormholes**. [s.l.] American Institute of Physics, 1995.
- WALD, R. M. **General relativity**. Chicago: Univ. Of Chicago Press, 2009.