

# Universidade de São Paulo Instituto de Física de São Carlos

## Semana Integrada do Instituto de Física de São Carlos

13<sup>a</sup> edição

Livro de Resumos

São Carlos  
2023

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Informação do IFSC

Semana Integrada do Instituto de Física de São Carlos  
(13: 21-25 ago.: 2023: São Carlos, SP.)  
Livro de resumos da XIII Semana Integrada do Instituto de  
Física de São Carlos – Universidade de São Paulo / Organizado  
por Adonai Hilário da Silva [et al.]. São Carlos: IFSC, 2023.  
358p.

Texto em português.

1.Física. I. Silva, Adonai Hilário da, org. II. Título.

ISSN: 2965-7679

## PG25

**Propriedades termodinâmicas de horizontes causais II: aspectos semiclássicos**BARBOSA, Matheus Goulart<sup>1</sup>; VANZELLA, Daniel Augusto Turolla<sup>1</sup>

matheusgb@ifsc.usp.br

<sup>1</sup>Instituto de Física de São Carlos – USP

A termodinâmica de buracos negros foi o primeiro campo de estudos a estabelecer uma curiosa conexão entre a termodinâmica e a teoria da relatividade geral, mostrando que equações análogas às leis da termodinâmica podiam ser obtidas em espaços-tempos contendo buracos negros. Em especial, propriedades do horizonte de eventos foram relacionadas à temperatura e à entropia do buraco negro, sendo elas a chamada gravidade superficial e a área de seções espaciais do horizonte, respectivamente. Esta analogia foi expandida, em alguns aspectos, para outros tipos de horizontes causais, como o horizonte de Rindler e horizontes cosmológicos. Tais horizontes são definidos como a fronteira das regiões em contato causal com algum observador e que sejam parte do passado deste. Com isso, se conjecturou que a termodinâmica esteja de fato embutida nas equações de Einstein e que ela possa ser exposta ao se considerar qualquer horizonte causal. Esta ideia foi então explorada de várias formas nas últimas décadas, sendo um dos resultados interessantes a correspondência entre a primeira lei da termodinâmica e as equações de Einstein em um evento qualquer do espaço-tempo, sendo obtido ao considerar hipóteses como o equilíbrio termodinâmico do horizonte causal deste evento. (1) Neste contexto, pretendemos compreender se de fato existe uma formulação termodinâmica intrínseca à relatividade geral e se ela é aplicável para horizontes causais genéricos. Na tentativa de elucidar os resultados já existentes, este projeto visa analisar a evolução temporal de um observador genérico e do universo observável definido pelo cone de luz passado correspondente. A fim de evitar problemas teleológicos de definição, toda a análise é restrita a uma região finita do interior de um espaço-tempo. Desta forma, trataremos da evolução de cones de luz passados com vértices ao longo de uma linha-de-mundo tipo-tempo e truncados ao atravessar uma superfície tipo-tempo com topologia  $\mathbb{R} \times S^2$ . A evolução dada pelas equações de Einstein é obtida através do formalismo de Bondi-Sachs, no qual um sistema de coordenadas especial leva a uma forma hierárquica de integração das equações de Einstein, fornecendo uma solução consideravelmente simples. (2) Este formalismo foi generalizado neste estudo para incluir tensores de energia-momento genéricos. A partir dele, é possível obter uma solução por expansão das funções presentes na métrica em torno da linha-de-mundo do observador. Os primeiros termos nesta expansão serão relacionados com a aceleração e a rotação do observador, através da equação de transporte para a base ortonormal que o acompanha. Espera-se então obter uma equação que represente o balanço de energia medido pelo observador, na qual podem surgir termos geométricos relacionados à área, por exemplo. Com isso, será estudada a possibilidade de estabelecer quantidades análogas à entropia e à temperatura relacionadas ao universo observável em questão. Usando condições de energia apropriadas, pretende-se verificar se esta entropia possui algum princípio de maximização com significado físico. Além disso, uma vez bem definido o regime clássico deste problema, será estudado se a teoria quântica de campos em espaços-tempos curvos pode fornecer generalizações das temperaturas de Hawking e de Unruh relativas ao universo observável finito proposto.

**Palavras-chave:** Horizontes causais. Termodinâmica de buracos negros. Formalismo de Bondi-Sachs.

**Agência de fomento:** CAPES (88887.499852/2020-00)

**Referências:**

- 1 JACOBSON, T.; PARENTANI, R. Horizon entropy. **Foundations of Physics**, v. 33, n. 2, p. 323-348, Feb. 2003.
- 2 ISAACSON, R. A.; WELLING, J. S.; WINICOUR, J. Null cone computation of gravitational radiation. **Journal of Mathematical Physics**, v. 24, n. 7, p. 1824-1834, July 1983.