

## Sombras retorcidas: anéis de luz, lentes e sombras de buracos negros em universos rodopiantes

Zeus S. Moreira<sup>1</sup>, Carlos A. R. Herdeiro<sup>2</sup>, Luís C. B. Crispino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém, Pará, Brazil, zeus.moreira@icen.ufpa.br e crispino@ufpa.br.

<sup>2</sup>Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro and Centre for Research and Development in Mathematics and Applications (CIDMA), Campus de Santiago, 3810-183 Aveiro, Portugal, herdeiro@ua.

Usando o formalismo de Ernst, uma nova solução da Relatividade Geral no vácuo foi recentemente obtida [Phys. Rev. D 106, 064014 (2022)], descrevendo um buraco negro (BN) de Schwarzschild imerso em um espaço de fundo em rotação não assintoticamente plano, denominado *universo rodopiante* (do inglês "swirling universe"), com a peculiaridade de que os hemisférios norte e sul giram em direções opostas. Investigamos o fluxo geodésico nulo e, em particular, a existência de anéis de luz nessa geometria. Avaliando a carga topológica total  $w$ , mostramos que existe um anel de luz instável ( $w = -1$ ) para cada sentido de rotação. A rotação do espaço de fundo desloca os anéis de luz do BN de Schwarzschild *para fora* do plano equatorial, exibindo movimento em sentido contrário entre si, enquanto ambos co-rotacionam com respeito ao universo rodopiante. Usando o método de backwards ray-tracing, obtivemos a sombra e os efeitos de lente gravitacional, revelando uma nova característica para observadores no plano equatorial. A sombra do BN exibe uma simetria ímpar  $\mathbb{Z}_2$  (norte-sul), herdada do mesmo tipo de simetria do próprio espaço-tempo: uma sombra retorcida.

**Palavras-chave:** Buraco negro, sombra, anéis de luz