

SONDANDO O UNIVERSO À PROCURA DE ONDAS GRAVITACIONAIS PERSISTENTES

Usando dados dos quatro primeiros períodos de observação do [LIGO](#), [Virgo](#) e [KAGRA](#) (até à primeira parte do quarto período de observação, conhecido como O4a), procurámos por [ondas gravitacionais](#) persistentes em todo o céu, tanto de fontes específicas conhecidas quanto de um possível fundo de sinais não resolvidos. Não detetámos quaisquer sinais, mas estabelecemos os limites mais rigorosos até à data quanto à intensidade dessas ondas, melhorando os resultados anteriores em cerca de um fator de dois.

PORQUÊ PROCURAR POR ONDAS GRAVITACIONAIS PERSISTENTES?

As ondas gravitacionais são ondulações no espaço-tempo, frequentemente produzidas por objetos cósmicos massivos e em movimento rápido. Embora tenhamos detetado curtas explosões de ondas provenientes da colisão de [buracos negros](#) e [estrelas de neutrões](#), também podem existir ondas gravitacionais de longa duração (“persistentes”). Estas ondas podem provir de estrelas de neutrões em rotação, aglomerados de estrelas ou mesmo de processos no início do universo. Se muitos desses sinais se sobrepuserem, formarão um fundo difuso de ondas gravitacionais. É importante ressaltar que é improvável que esse fundo seja uniforme — a sua intensidade pode variar no céu, dependendo da localização das fontes.

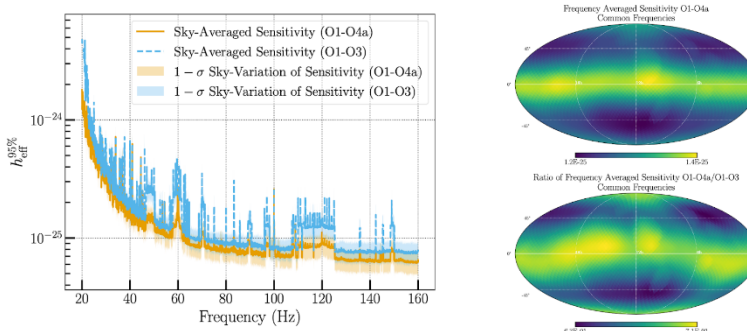


Figura 1. Painei esquerdo - Limites superiores médios do céu fornecidos pela pesquisa em todo o céu e em todas as frequências utilizando os conjuntos de dados O1 - O4a e O1 - O3, respetivamente. As regiões sombreadas representam o nível de [ruído](#) nos limites superiores em todo o céu.

Painei Superior Direito - Mapa celeste dos limites superiores médios de frequência utilizando dados O1-O4a. O padrão observado reflete a sensibilidade celeste típica de uma rede dominada por HL. *Painei Inferior Direito* - Mapa celeste mostrando a relação entre os limites superiores médios de frequência de O1-O4a e os de O1-O3.

Ao procurar esses sinais persistentes e direcionais, pretendemos abrir uma nova janela para o universo local e distante, revelando populações de estrelas de neutrões, aglomerados de galáxias ou mesmo fenómenos inexplorados no início do universo, como [cordas cósmicas](#) ou [inflação](#).

COMO REALIZAMOS A PESQUISA?

Utilizámos dados do LIGO dos períodos O1 a O4a, bem como dados do Virgo do terceiro período, para procurar sinais persistentes. Utilizámos um radiómetro de ondas gravitacionais, uma técnica que [correlaciona](#) dados entre detetores para mapear a possível potência das ondas gravitacionais em todo o céu.

A nossa pesquisa incluiu quatro análises complementares:

- **Pesquisa por todo o céu e em todas as frequências:** busca de sinais contínuos em todo o céu e em toda a gama de frequências.
- **Pesquisa direcionada de banda estreita:** com foco em localizações astrofísicas específicas, como o [Scorpius X-1](#) e o [Centro Galático](#).
- **Pesquisa de banda larga:** procura de fundos de ondas gravitacionais de ampla frequência provenientes de fontes pontuais.
- **Pesquisa de fontes abrangentes:** utilização de [harmónicos esféricos](#) para sondar fontes amplas e difusas.

PARA SABER MAIS:

Visita as www.ligo.org
nossas www.virgo-gw.eu
páginas gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/
web:



O QUE DESCOBRIMOS?

Não encontramos evidências de ondas gravitacionais persistentes em nenhuma das análises. No entanto, estabelecemos os [limites superiores mais rigorosos de sempre](#) para esse tipo de sinais.

- **Pesquisa em todo o céu** (ver **Figura 1**): Estimativas de sensibilidade entre 3×10^{-26} e 8.4×10^{-24} .
- **Pesquisa direcionada** (ver **Figura 2**): Para fontes importantes como Scorpius X-1 e [SN 1987A](#), as amplitudes de deformação foram restringidas a valores entre $\sim 1.1 \times 10^{-25}$ e 6.5×10^{-24} .
- **Pesquisa de banda larga**: Os limites ao [fluxo de energia](#) foram melhorados em fatores de 1.4 a 1.7 em relação aos resultados anteriores.
- **Pesquisa de fontes abrangentes** (ver **Figura 3**): As restrições ao [espectro angular de potência](#) das ondas gravitacionais também foram reforçadas até um fator de dois.

Estes resultados baseiam-se em pesquisas por novas fontes persistentes de ondas gravitacionais, bem como em técnicas de análise aprimoradas, e preparam o terreno para descobertas futuras.

PERSPETIVAS FUTURAS

À medida que os detetores LIGO, Virgo e KAGRA continuam a observar com maior sensibilidade, esperamos aumentar as nossas hipóteses de detetar ondas gravitacionais persistentes. Em análises futuras, incluiremos mais dados para analisar e refinar ainda mais as nossas restrições sobre este fundo persistente de ondas gravitacionais.

PARA SABER MAIS:

Visita as nossas páginas web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Lê uma pré-impressão de acesso livre do artigo científico [aqui](#) ou no [arXiv](#).

Traduzido para o português por Inês Rainho e revisto por Tiago Fernandes a partir da versão original em inglês disponível [aqui](#).

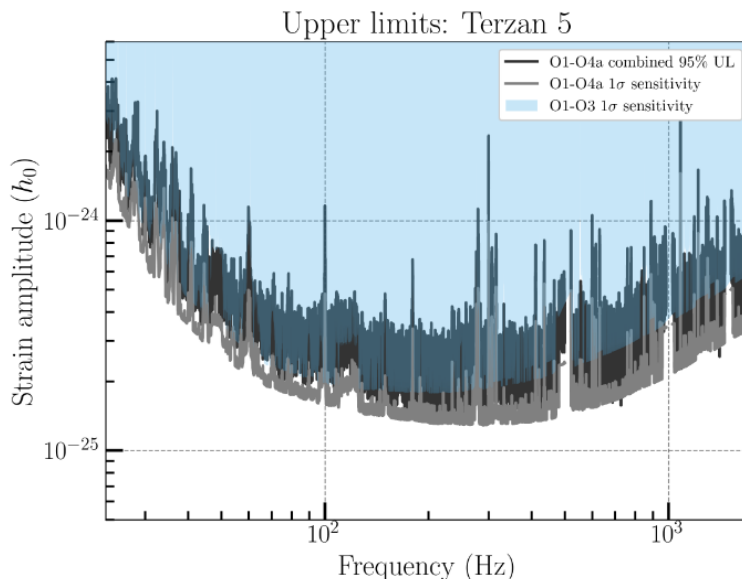


Figura 2: Limites superiores da pesquisa com radiômetro de banda estreita, utilizando o conjunto de dados O1 - O4a para um aglomerado globular Terzan 5, um novo alvo explorado neste trabalho. A linha preta contínua mostra os limites superiores Bayesianos, enquanto a linha cinza mostra uma estimativa da sensibilidade sob a hipótese de não haver sinal presente.

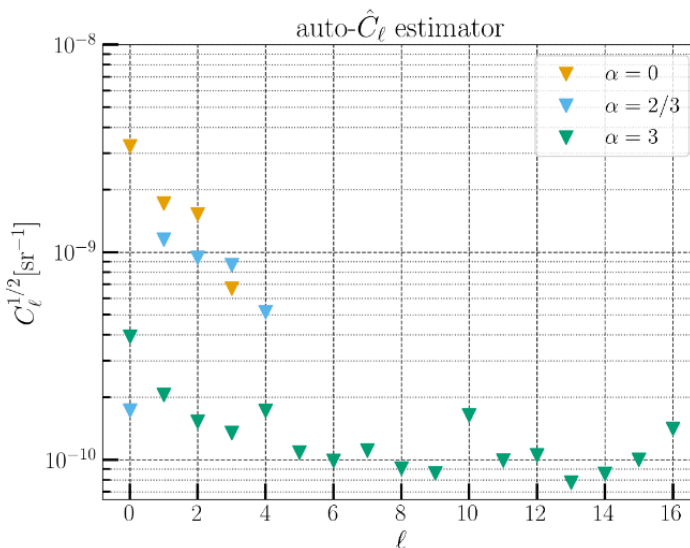


Figura 3: Limites superiores com confiança de 95% no [espectro angular de potência](#) para a pesquisa de fontes estendidas usando o conjunto de dados O1 - O4a. As diferentes cores representam três modelos espectrais de [lei de potência](#), cada um com diferentes escalas angulares máximas que explorámos.

GLOSSÁRIO

Inferência Bayesiana: Método que nos permite combinar novos dados com algum conhecimento que já possuímos (comumente conhecido como informação prévia), expresso como probabilidade. A combinação é usada para atualizar o nosso conhecimento atual e também é expressa como probabilidade (a probabilidade posterior).

Buraco negro: Uma região do espaço-tempo com gravidade tão intensa que impede qualquer coisa, incluindo a luz, de escapar. Os buracos negros têm tamanhos diferentes: os buracos negros de massa estelar têm origem no colapso estelar e as suas massas variam entre algumas massas solares e cerca de 65 massas solares. Os buracos negros de massa intermédia têm massas que variam entre cerca de 100 massas solares e 10^5 massas solares. Por fim, os buracos negros supermassivos variam de 10^6 massas solares a mais de 10^9 massas solares.

Correlação cruzada: Medida da semelhança entre dois (ou mais) conjuntos de dados. Se os dados de dois detetores de ondas gravitacionais separados forem considerados correlacionados, isso pode indicar a presença de um fundo de ondas gravitacionais (desde que outras possíveis fontes de correlação sejam descartadas).

Fluxo de energia: Uma medida da quantidade de energia que atinge um detetor por unidade de área por unidade de tempo. Por exemplo, o fluxo de energia pode ter unidades de ergs por centímetro quadrado por segundo. Esta definição é útil quando o detetor está muito longe da fonte, porque, nesse caso, a quantidade de energia recolhida por um detetor é proporcional ao seu tamanho (área) e ao tempo de espera. No entanto, o fluxo de energia pode estar presente apenas por uma fração de segundo num evento astrofísico transitório.

Estrela de neutrões: O remanescente de uma estrela massiva. Quando uma estrela massiva esgota o seu combustível nuclear, ela morre de forma catastrófica (numa supernova) que pode resultar na formação de uma estrela de neutrões: um objeto tão massivo e denso (embora não tanto quanto um buraco negro) que os átomos não conseguem manter a sua estrutura tal como normalmente os percebemos na Terra. Estas estrelas têm aproximadamente a mesma massa do nosso sol, mas com um raio de cerca de dez quilómetros.

Deformação: A variação fracionária na distância entre dois pontos de referência devido à deformação do espaço-tempo criada por uma onda gravitacional que passa. A deformação típica mesmo das ondas gravitacionais mais fortes que atingem a Terra é muito pequena — normalmente inferior a 10^{-21} .

Limite superior: Uma declaração sobre o valor máximo que uma determinada quantidade pode ter, mantendo-se consistente com a não deteção. Normalmente, utilizamos um limite de 95% de grau de confiança, ou seja, dados os dados, existe uma probabilidade de 95% de que a quantidade esteja abaixo deste limite.