

PROCURA DE ESTOUROS DE ONDAS GRAVITACIONAIS DE LONGA DURAÇÃO NOS PRIMEIROS OITO MESES DO QUARTO PERÍODO DE OBSERVAÇÃO LIGO-VIRGO-KAGRA

Até agora, todos os sinais de ondas gravitacionais (OG, GW em inglês) detetados por LIGO-Virgo-KAGRA provêm de [coalescências de binários compactos](#), onde pares de estrelas de neutrões ou buracos negros se fundem após uma longa dança cósmica. Um dos grandes sucessos da [teoria da relatividade geral](#) de Einstein é a previsão exata dos sinais de ondas gravitacionais emitidos nestes eventos cataclísmicos. Mas é quase certo que existem outras fontes de OG por aí, não tão bem compreendidas e ainda por detetar. Algumas das fontes mais promissoras emitem “[estouros](#)”: [transientes](#) de OG para os quais não se conhece nenhuma forma antecipadamente.

Este artigo apresenta uma procura deste tipo de sinais durante a primeira parte do [período de observação](#) mais recente de LVK, O4a, que decorreu entre maio de 2023 e janeiro de 2024. Especificamente, esta é uma busca por estouros de longa duração, que duram cerca de 1-1000 segundos. Embora não saibamos exatamente onde estes sinais podem surgir, as teorias prevêem que podem ser emitidos por deformações não esféricas em estrelas de neutrões recém-nascidas, discos de acreção trémulos ou instáveis em torno de buracos negros, ou binários de estrelas de neutrões ou buracos negros em órbitas altamente excêntricas (ou seja, não circulares). Em particular, este tipo de estouros pode dar-nos uma ideia do que acontece [após uma fusão de estrelas de neutrões](#) como a espetacular [GW170817](#): se o remanescente resultante é uma estrela de neutrões muito maciça ou um buraco negro.

PARA SABER MAIS:

Visita as www.ligo.org
nossas www.virgo-gw.eu
páginas [wwwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)
web:



Figura 1: Uma representação artística de uma estrela de neutrões supermassiva formada na sequência da fusão de uma estrela de neutrões. Estes objectos exóticos podem criar estouros de ondas gravitacionais de longa duração. Crédito: ESO/L. Calçada/M. Kornmesser

A pesquisa foi efetuada utilizando dois algoritmos independentes, analisando cerca de 120 dias de dados em que os detetores LIGO Livingston e LIGO Hanford estavam a recolher dados de qualidade científica — cruciais para distinguir sinais astrofísicos (que deveriam estar presentes em ambos os detetores) de ruído (que só poderia aparecer num deles). Um dos algoritmos de pesquisa, o *coherent WaveBurst* (cWB), foi atualizado para ser mais sensível a estes tipos específicos de sinais, em comparação com [a pesquisa anterior realizada no anterior período de observação \(O3\)](#). Esta melhoria inclui a utilização do XGBoost, um algoritmo de aprendizagem automática de árvore de decisão com reforço de gradiente, que serve como classificador para distinguir entre ruído e sinal, aumentando assim a sensibilidade da pesquisa.

Esta é a primeira vez que a aprendizagem automática é utilizada numa pesquisa de LVK. O outro algoritmo, PySTAMPAS, está a efetuar uma pesquisa em todo o céu pela primeira vez.

Após eliminar candidatos correspondentes a fusões de buracos negros conhecidas, não foram encontrados novos eventos astrofísicos. Os estímulos mais significativos do cWB e do PySTAMPAS tiveram [taxas de falso alarme](#) de 1 em cada 8 meses e 1 em cada 6 meses, respetivamente, ambas consistentes com o ruído.

Apesar desta falta de deteções, podemos ainda fazer afirmações astrofísicas interessantes com esta pesquisa. Usando sinais de amostra que representam classes particulares de fontes, podemos quantificar a sensibilidade de cada pesquisa e aprender sobre a frequência com que cada tipo de fonte pode ocorrer no Universo. De facto, não termos detetado nada significa que estas explosões de longa duração podem ser mais raras ou mais fracas do que um [“limite superior”](#) derivado. A Figura 2 mostra estes limites superiores da amplitude das ondas gravitacionais, a preto, comparados com os melhores limites anteriores do período de observação O3, a cinzento. Para a maioria dos tipos de sinais, estes limites são cerca de 1,2-2x mais rigorosos, devido a uma maior sensibilidade do detetor e a algoritmos de pesquisa mais avançados. As futuras buscas nos restantes [dados de O4 \(previstas para decorrer até finais de 2025\)](#) terão uma sensibilidade ainda melhor, tornando os limites mais apertados e dando um passo em frente no caminho para permitir novas descobertas inovadoras.

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 do artigo científico [aqui](#).

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

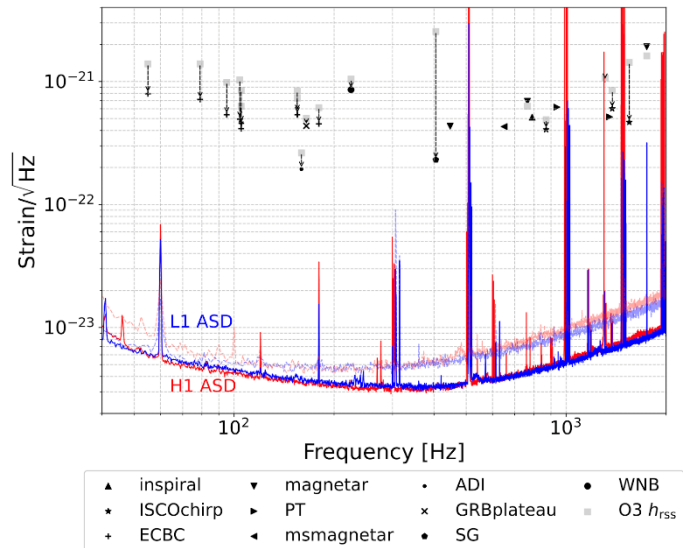


Figura 2: Os limites superiores da amplitude das ondas gravitacionais, comparados com a sensibilidade dos detetores LIGO (azul e vermelho), para vários tipos de sinais de estouros de longa duração. A amplitude (“strain”) está no eixo vertical e a frequência das ondas gravitacionais está no eixo horizontal. Cada marcador preto representa o limite superior da amplitude de O4a para um determinado tipo de sinal de estouro, comparado com o seu equivalente de O3 a cinzento. A maioria dos limites são melhorados por um fator de 1,2 - 2. Por exemplo, “magnetar” (seta para baixo) e ‘msmagnetar’ (magnetar de milissegundo, seta para a esquerda) representam sinais que surgem de dois tipos diferentes de magnetares, enquanto “ECBC” (eccentric compact binary coalescence, símbolo +) se refere a binários em órbitas excêntricas. Outros tipos incluem “inspiral” (fusões binárias de estrelas de neutrões), “ISCOchirp” (ondas de órbita circular estável mais interna em torno de buracos negros em rotação), “PT” (acrecção de retorno em estrelas de neutrões), “ADI” (instabilidade do disco de acreção), “GRBplateau” (magnetares recém-formados que alimentam planaltos de explosões de raios gama), “SG” (formas de onda sinusoidais) e “WNB” (estouros de ruído branco).

GLOSSÁRIO

Coalescência de binários compactos – habitualmente abreviado como CBC, consiste em dois buracos negros, duas estrelas de neutrões, ou um buraco negro e uma estrela de neutrões que se espiralam e acabam por se fundir. Todo o processo produz ondas gravitacionais que aumentam em frequência e amplitude à medida que os dois objetos se aproximam um do outro e aceleram. O objeto resultante da fusão pode ser uma estrela de neutrões ou um buraco negro, dependendo do sistema inicial. Os objetos que formam o binário são chamados os seus componentes, sendo o componente primário definido como o que tem a maior massa.

Relatividade Geral – A teoria da gravidade proposta por Albert Einstein em 1915. Nesta teoria, o espaço e o tempo são como um tecido maleável que se deforma na presença de matéria e energia, e os objetos seguem trajetórias através deste espaço curvo.

Procura de estouros – Uma procura de excesso de energia coincidente numa rede de detetores de OG que funciona sem assumir um modelo específico de forma de onda.

Transiente – Fenómeno astronómico de curta duração; em contraste com os acontecimentos astrofísicos que duram entre milhares e milhares de milhões de anos.

Período de observação – Um intervalo de tempo durante o qual os detetores de ondas gravitacionais estão a recolher dados.

Taxa de falsos alarmes – A taxa de falsos alarmes é utilizada para quantificar a probabilidade de um evento ter sido causado por ruído. É calculada através da simulação de eventos provenientes de ruído e da análise da sua intensidade de sinal, para obter uma distribuição da taxa esperada de tais eventos em função da intensidade do sinal. Em termos mais concretos, se um acontecimento tiver uma taxa de falso alarme de 1 por dia, isso significa que esperamos que o ruído do nosso detetor produza esse acontecimento cerca de uma vez por dia. Por conseguinte, teríamos pouca confiança neste evento.

Limite superior – Uma declaração sobre o valor máximo que uma determinada quantidade pode ter, mantendo-se consistente com a não deteção. Utilizamos um limite de grau de confiança de 95%, ou seja, tendo em conta os dados, existe uma probabilidade de 95% de a quantidade estar abaixo deste limite.