

# ESTUDO DO SISTEMA DE SUSPENSÃO CRIOGÊNICA QUE COMPORÁ NOVAS GERAÇÕES DE INTERFERÔMETROS A LASER PARA OBSERVAÇÃO DE ONDAS GRAVITACIONAIS

CARMO, D. G.<sup>1,2</sup>; AGUIAR, O. D.<sup>2</sup>; ALVES, M. E. S.<sup>1</sup> e REIS, J. A. M.<sup>2</sup>

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.<sup>1</sup>  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Astrofísica, São José dos Campos, São Paulo, Brasil.<sup>2</sup>

Keyword: Springs; Cryogenic; Gravitational Waves.



## INTRODUÇÃO

O Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser (LIGO) é um instrumento projetado para detectar ondas gravitacionais. As detecções do LIGO confirmaram a última previsão remanescente da Relatividade Geral e inauguraram uma nova era na astrofísica de ondas gravitacionais, pois os observatórios de ondas gravitacionais têm o potencial de observar diretamente a história inicial do Universo. [1] Para melhorar a sensibilidade por um fator adicional de dois e reduzir o corte de baixa frequência para 10 Hz, está sendo planejada uma melhoria de terceira geração para o observatório chamada "LIGO Voyager". Esta nova geração está planejada para operar a uma temperatura de 123K, devido ao coeficiente zero de expansão térmica do silício nessa faixa. [2] Nesse sentido, é necessário adaptar componentes para operação em condições criogênicas, como é o caso dos sistemas vibratórios, mais especificamente suas anti-molas (Figura 1).

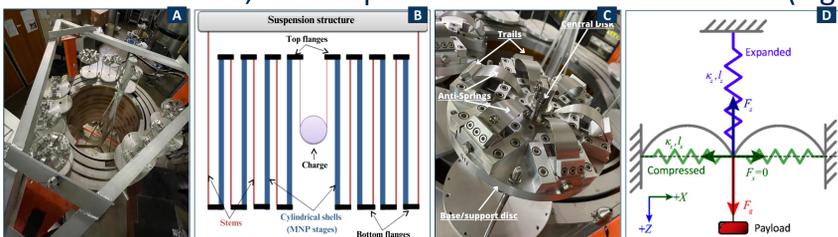


Figura 1 - Em (A) é possível visualizar um protótipo do sistema Multi-Nested Pendula (MNP) desenvolvido para atuar no isolamento vibracional de detectores interferométricos de ondas gravitacionais; enquanto em (B) temos um esquema conceitual da estrutura de suspensão e seus respectivos componentes; em (C) temos um protótipo da anti-mola geométrica de duas fases acoplada ao Sistema MNP e em (D) o arranjo de forças nas anti-molas em equilíbrio estático. Fonte: [4]

Atualmente, existem possíveis candidatos para compor essas molas, que possuem fatores de qualidade mecânica ( $Q_m$ ) [5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11], adequados para esse tipo de aplicação, como é o caso dos materiais: Nióbio, Vanádio, Molibdênio, Tungstênio, CuAl6%, Al 5052 (substituindo a liga AL5056, difícil de encontrar no Brasil) e Liga de Titânio (Al6% V4%).

## OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo e determinar experimentalmente a deformação elástica dos materiais: Nióbio, Vanádio, Molibdênio, Tungstênio, Liga CuAl6%, Liga de Alumínio 5052 e Titânio Al6% V4% em temperaturas de 77K e 300K

## MATERIAIS E MÉTODOS

Desenvolvemos um primeiro protótipo experimental que permitiu realizar medições em condições criogênicas (77K) e ambientais (300K). Foram utilizados: uma caixa de isopor; uma régua para medir a distensão ( $\Delta L$ ); um cabo de arame de música de 50cm; um dinamômetro digital para medir a força aplicada (kgf) e um esticador metálico fixado à mesa para variar a força (Figura 2A). As molas foram fixadas à estrutura e submersas em nitrogênio (Figura 2B), simulando condições de operação próximas às do LIGO (123K). Durante a execução do experimento, foi possível notar o comprimento efetivo para a flexão do material (Figura 2B). O maior problema com o protótipo estava relacionado à deformação da estrutura (Figura 2C), que precisou ser reforçada (Figura 2D).



Figura 2 - Protótipo experimental projetado para determinar as constantes elásticas dos materiais. Em (A) temos os componentes principais; em (B) é possível visualizar uma mola submersa em nitrogênio; e em (C) e (D) é mostrada uma deformação estrutural que foi posteriormente reforçada.

As molas foram fabricadas utilizando um dispositivo de eletroerosão a fio, obtendo uniformidade e precisão em suas geometrias. Além disso, após a obtenção dos dados de cada mola, aplicamos uma correção às medições, determinando a elasticidade do diâmetro de 0,5mm do cabo "music wire".

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

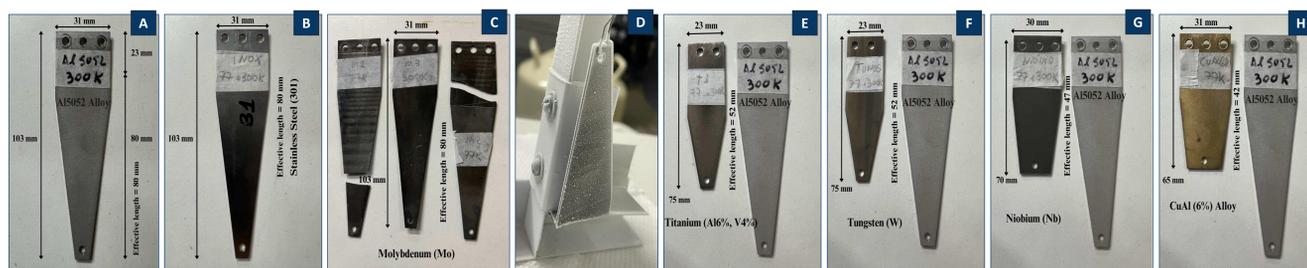


Figura 3 - Molas utilizadas no procedimento experimental com seus respectivos valores de comprimento, largura, espessura e comprimento efetivo. Em (A), temos a mola de liga Al5052 usada a 300K. Em (B), há a mola de aço inoxidável usada a 77K e 300K. Em (C), há três molas de molibdênio, uma das quais foi usada a 300K, enquanto as outras duas foram usadas a 77K e atingiram o ponto de ruptura (D). Em (E), há a mola de titânio V6% Al4% usada a 77K e 300K, comparada à mola de Al5052. Em (F), há a mola de tungstênio usada a 77K e 300K. Em (G), há a mola de nióbio usada a 77K e 300K, e em (H), há a mola de CuAl também usada a 77K e 300K. As molas de tungstênio e titânio V6% Al4% têm dimensões semelhantes, assim como as molas de nióbio e CuAl. A estrutura do protótipo foi ligeiramente alterada ajustando a posição da polia para acomodar as novas dimensões das molas. As molas de (A) a (C) têm o mesmo comprimento (103mm), largura (31mm) e comprimento efetivo (80mm), diferindo apenas em suas espessuras, conforme indicado na Tabela 1. As molas (E) e (F) têm comprimento semelhante (75mm), largura (23mm), espessura (1,2mm) e comprimento efetivo (52mm). No entanto, as molas (G) e (H), apesar de terem geometria semelhante, têm dimensões diferentes: a primeira tem um comprimento de 70mm, comprimento efetivo de 47mm, largura de 30mm e espessura de 1,1mm, enquanto a segunda tem um comprimento de 65mm, comprimento efetivo de 42mm, largura de 31mm e espessura de 1,2mm.

MATERIAL	77K - Elastic constant k (N/m)	300K - Elastic constant k (N/m)	MAX WIDTH (mm)	EFFECTIVE LENGTH (mm)	THICKNESS (mm)	DISTENSION RATIO @77K (%)	Mechanical Q @123K
Al5052 Alloy	596	500	31	80	1.05	22,50%	1,0E+06
MOLYBDENUM (Mo)	2214	538	30	80	0.75	21,88%	1,5E+06
STAINLESS STEEL (301)	1798	1639	30	80	1.0	42,50%	?
CuAl6% Alloy	2363	1773	30	42	1.1	16,67%	1,0E+05
NIOBIUM (Nb)	3498	2200	30	47	1.1	24,47%	5,0E+05
TITANIUM (Al6%, V4%)	3194	4926	23	52	1.2	51,92%	?
TUNGSTEN (W)	9703	7181	23	52	1.2	34,62%	5,0E+05

Tabela 1: Valores de constantes elásticas determinados experimentalmente para 77K e 300K; Medições das dimensões dos materiais; Valores percentuais da taxa de distensão dos materiais a 77K e fatores de qualidade mecânica dos respectivos materiais de acordo com a literatura.

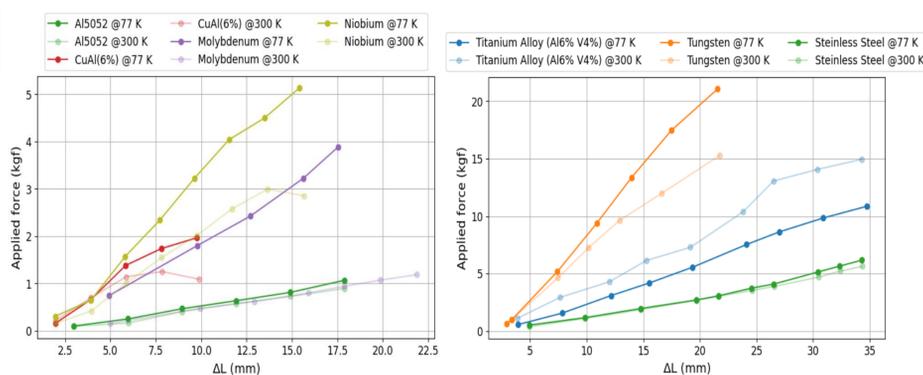


Figura 4 - Gráfico da variação ( $\Delta L$ ) em função da força aplicada (kgf). Em (a), temos a mola de Alumínio 5052 (verde), Liga de CuAl (vermelho), Molibdênio (lilas) e Nióbio (verde claro). Em (b), temos as molas de Liga de titânio (azul), tungstênio (laranja) e Aço inoxidável (verde). As cores mais intensas representam os materiais a 77K, enquanto os gráficos menos intensos representam os materiais a 300K.

## CONCLUSÃO

Este estudo obteve resultados significativos em relação aos materiais com propriedades adequadas para compor anti-molas criogênicas para futuras gerações de detectores de ondas gravitacionais. Materiais como tungstênio, nióbio, ligas de titânio e aço inoxidável provaram ser candidatos promissores que passarão por mais rodadas de medições. Também foi observado que quase todos os materiais, exceto o titânio, exibiram constantes elásticas mais altas em condições criogênicas. Foi possível concluir que o Al5052 tem uma taxa de deformação pequena, descartando a possibilidade de seu uso. O molibdênio não é um candidato adequado, pois atinge o ponto de ruptura em condições criogênicas.

Para melhorar a qualidade dos resultados, será necessário construir um novo protótipo com uma estrutura mais resiliente. Além disso, outro candidato promissor, o maraging steel, também será explorado nesta segunda rodada de medições, com o material fornecido pela colaboração científica do LIGO (LSC).

## REFERÊNCIAS



## AGRADECIMENTOS

