Maria Helena Machado 6.6 P&B — Data de preparação 14/03/2022 — Data de execução 16/03/2022

Estudo de um Movimento Harmónico simples
- Determinação da Constante elástica de uma mola.

TL4 - 2ª série

Objetivos

- Descrever a dinâmica num sistema massa-mola em que ~~esta~~ massa [tem] movimento harmónico simples, com mola homogénea.
- Calcular a constante elástica de uma mola pelo método estático e pelo método dinâmico.
- Abordar ~~as~~ em que condições, para o sistema massa-mola estático, a lei de Hooke é válida.
- Determinar o período de um movimento harmónico simples, verificando a sua dependência em relação a vários parâmetros.

Preparação (método estático)

1. Retirar a mola do suporte;
2. Medir a massa da mola e, separadamente, a massa do prato (m_{prato})
3. Medir as restantes massas (m_i) e ordená-las por ordem crescente.
4. Colocar a mola no suporte e o prato na sua extremidade.
5. Sem a massa (m_i) no prato, ler a posição extrema do prato (L_0).
6. Colocar a massa mais pequena (m_1) e ler a posição L_1 relativa à posição extrema do prato. Acrescentar a massa (m_2) e ~~...~~ repetir o processo.
7. Distribuir uniformemente as massas m_i pela base do

prato, com o auxílio de um esquadro.

8. Registar os dados obtidos no ponto 6.

9. Retirar as massas m_i por ordem inversa à que foram colocadas em 6, ler o l_i respetivo e registar na tabela.

10. ~~Traçar~~ Traçar o gráfico de m_i versus x.
 - determinar k e Δk (incerteza de k) em unidades SI.
 - determinar a ordenada na origem da dependência linear, associando o seu significado físico.
 - concluir se F é do tipo elástico

→ Proposta (método dinâmico).

1. Colocar a massa mais pequena (m_1) no prato e ler a posição l_1.
Distender a massa 2 cm e largar sem velocidade inicial.
Medir o tempo de 20 oscilações completas $t_{20T}(m_i)$.

⚠ Importante:

 - a oscilação deve ocorrer sobre o eixo da mola e sem efeitos de torção.

2. Colocar m_{i+1} e repetir o ponto (1).

⚠ Importante:

 - Não se retira a massa anterior.

3. Registar os dados na tabela.

4. Traçar o gráfico $T^2(m_i)$ versus m_i.
 - Determinar k e Δk (incerteza de k) em SI
 - Obter a ordenada na origem da dependência

...mar e indicar o significado físico.
. verificar se a eq. (1) da secção introdução teórica é válida.
. comparar os valores de k determinados para cada método.

Esquematização:

material necessário:

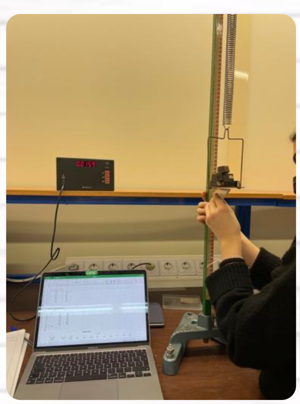
- mola + base de suporte c/ régua graduada (± 0,05 cm) (1)
- cronómetro (± 0,01 s) (2)
- balança (± 0,01 g) (3)
- pesos (4)
- esquadro (± 0,05 cm)

(5) - Imagem referente à montagem experimental

(3) - Balança digital

(4)

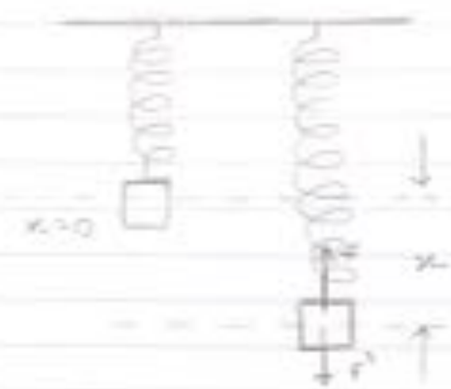
(2)



(6) - Imagem referente à montagem experimental

(1)

→ Método dinâmico



Existe uma régua graduada ao lado da mola
incerteza da régua
± 0,05 cm

→ Notas de aula:

• A forma correta de adicionar as massas é na ordem crescente de peso, pois é desta forma que a variação de carga/descarga é cada vez maior.

Além disso neste caso, como as massas tinham um valor pouco elevado, a constante da mola se as massas não fossem colocadas por ordem seria praticamente igual à obt. da experimentalmente.

→ Análise Teórica.

• Lei de Hooke e força elástica.

De acordo com a lei de Hooke, quando uma força é aplicada sobre uma mola, ela é capaz de deformar a mola, consequentemente, a mola produz uma força contrária à força externa (força elástica). A força é cada vez maior de acordo com a deformação da mola.

$$F_{el} = -kx$$

F_{el} - força elástica (N)
k - constante elástica (N/m)
x - deformação da mola (m)

→ Expressão

$mg = k\Delta L$ $\quad T^2 = 4\pi^2 \frac{M}{k}$ $\quad M = m_{prato} + \frac{m_{mola}}{3} + \sum_{i} m_i$

$mg = \sum_{i} m_i$

← soma das massas

→ análise de dados

• usando o método estático

m $_{mola}$ (±0,00001) kg	m $_{prato}$ (±0,00001) kg
0,14139	0,09328

Tabela 1

Tabela massas - pesadas individualmente											
m $_{mola}$ (±0,00001)kg	m $_{prato}$ (±0,00001)kg	m $_{pesos}$ (±0,00001)kg									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,14139	0,09328	0,04802	0,04832	0,04881	0,04958	0,05007	0,0503	0,05048	0,0505	0,05147	0,05324

Tabela 2

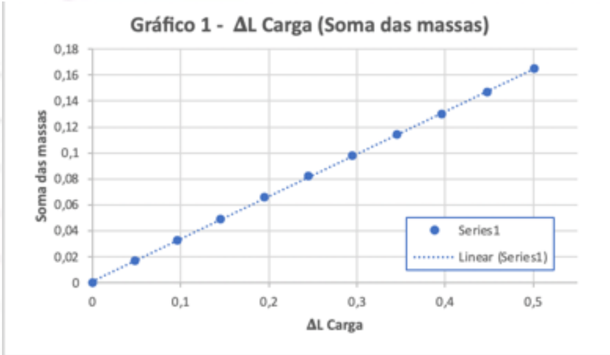
M (±0,00001) kg	Soma das massas (±0,00001) kg	m_i (±0,00001) kg	Li Carga (±0,0005) m	Li Descarga (±0,0005) m
0,14041	0	0	0,568	0,569
0,18843	0,04802	0,04802	0,585	0,585
0,23675	0,09634	0,04832	0,601	0,590
0,28556	0,14515	0,04881	0,617	0,617
0,33514	0,19473	0,04958	0,634	0,633
0,38521	0,2448	0,05007	0,650	0,649
0,43551	0,2951	0,0503	0,666	0,665
0,48599	0,34558	0,05048	0,682	0,682
0,53649	0,39608	0,0505	0,698	0,699
0,58796	0,44755	0,05147	0,715	0,715
0,64120	0,50079	0,05324	0,733	0,733

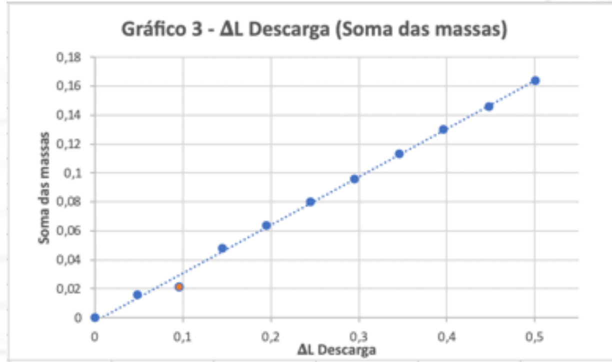
ΔL Carga (±0,0005) m	ΔL Descarga (±0,0005) m	K Carga (N/M)	K Descarga (N/M)
0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
0,017	0,016	27,7	29,4
0,033	0,021	28,6	45,0
0,049	0,048	29,1	29,7
0,066	0,064	28,9	29,8
0,082	0,080	29,3	30,0
0,098	0,096	29,5	30,2
0,114	0,113	29,7	30,0
0,130	0,130	29,9	29,9
0,147	0,146	29,9	30,1
0,165	0,164	29,8	30,0

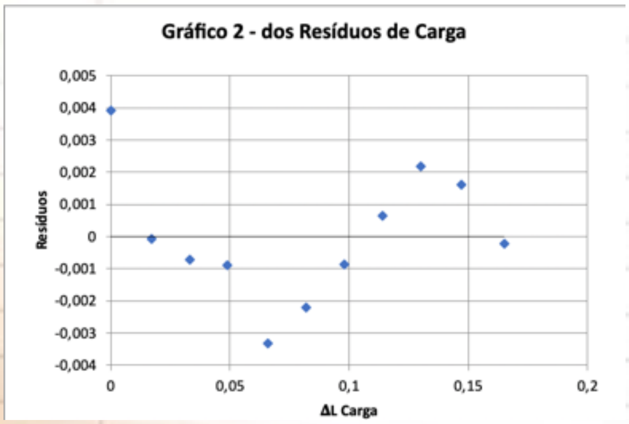
Tabela 3

K´(Carga) (N/M)	29,2
K´(Descarga) (N/M)	31,4
K´ (N/M)	30,3
u (K´ carga) (N/M)	0,206
u (K´ descarga) (N/M)	1,435
u (K´) (N/M)	0,434

Tabela 4







CARGA			
m	3,06	-0,0039	b
S_m	0,0125	0,00121	S_b
r^2	1,00	0,00214	S_y

Tabela 5

DESCARGA			
m	3,00	0,0074	b
S_m	0,0559	0,00535	S_b
r^2	1,00	0,00977	S_y

Tabela 6

• Ao analisar os resíduos residuais e os gráficos apresentados no gráfico 1, 2, 3 e 4 é possível afirmar que:

• No gráfico 2 e 4 os valores não se distribuem de forma aleatória, uma vez que apresentam uma tendência curva, ainda variem em torno de valores zero, o que representa uma boa indicação para a nossa aproximação.

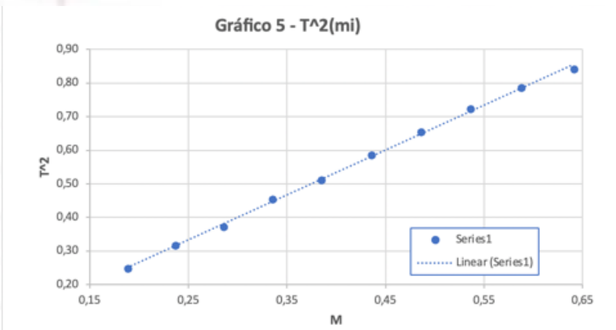
• No gráfico 4 o valor ΔL assinalado a laranja apresenta uma discrepância elevada em relação aos restantes, mesmo caso o excluíssemos da análise gráfica a tendência curva do gráfico 4 seria mais evidenciada, uma vez que poderíamos alterar a escala do gráfico e o valor a incerteza na descarga seria certamente menor.

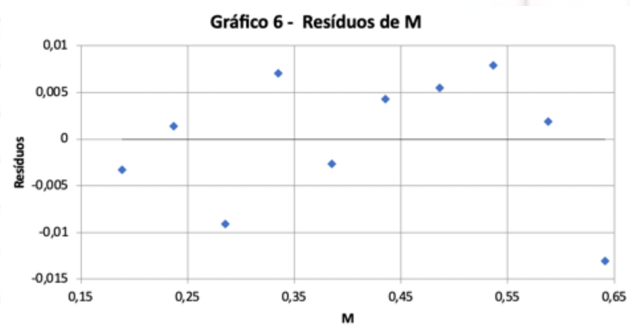
• Apesar de tudo, consideramos os nossos gráficos uma boa aproximação, que poderia ser ainda mais precisa se o valor 3 dos gráficos 3 e 4 fosse retirado.

- Estudo do método dinâmico

M (±0,00001)kg	Soma das massas (±0,00001)kg	m_i (±0,00001)kg	20T (±0,01)s	T (±0,01)s	T^2 (±0,01)s	K (N/M)
0,18843	0,04802	0,04802	9,97	0,50	0,25	29,94
0,23675	0,09634	0,04832	11,27	0,56	0,32	29,43
0,28556	0,14515	0,04881	12,20	0,61	0,37	30,30
0,33514	0,19473	0,04958	13,48	0,67	0,45	29,13
0,38521	0,2448	0,05007	14,30	0,72	0,51	29,75
0,43551	0,2951	0,0503	15,30	0,77	0,59	29,38
0,48599	0,34558	0,05048	16,17	0,81	0,65	29,35
0,53649	0,39608	0,0505	17,01	0,85	0,72	29,28
0,58796	0,44755	0,05147	17,73	0,89	0,79	29,54
0,64120	0,50079	0,05324	18,35	0,92	0,84	30,07

Tabela 7





m	1,33	0,0008	b
s_m	0,0162	0,00708	s_b
r^2	1,00	0,00741	s_y

Tabela 8

K´ (N/M)	29,6
u (K´) (N/M)	0,114

Tabela 9

- Através da análise dos dados do método dinâmico é possível afirmar que a incerteza associada ao K obtido deste método é bastante inferior à do método estático.
- O gráfico dos resíduos relativos apresenta valores aleatórios em torno do valor zero, sendo um indicador muito positivo para a nossa aproximação. Logo, o valor obtido experimentalmente está próximo do valor real.
- A lei de Hooke foi verificada, já que a mola apresentou um regime elástico uma vez que, mesmo com os pesos, esta ~~[illegible]~~ tendia sempre para a sua ~~[illegible]~~ posição original de equilíbrio sem haver rutura.

→ Conclusão

Para concluir, o valor de K (constante da mola) obtido experimentalmente através da média do K estático e K dinâmico corresponde a 29,18 N/m.

Adicionalmente, verifica-se que a mola que ~~[illegible]~~ em ambos os métodos a mola regressa à sua posição de equilíbrio, sem ocorrer rutura, logo o seu comportamento é elástico e cumpre a lei de Hooke.