

## Atividade 4B - Estudo do comportamento mecânico de um fio de aço sob tração

Self!

Objetivos  $\rightarrow$  Verificação da lei de Hooke

$\rightarrow$  Verificação experimental do comportamento elástico aço

$\rightarrow$  Determinação do módulo de Young de um fio de aço

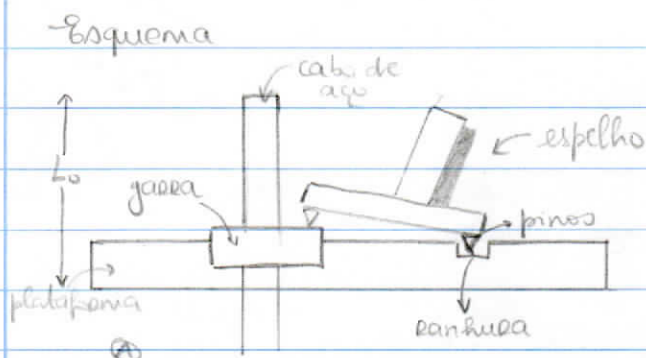


Figura 1: Montagem do espelho

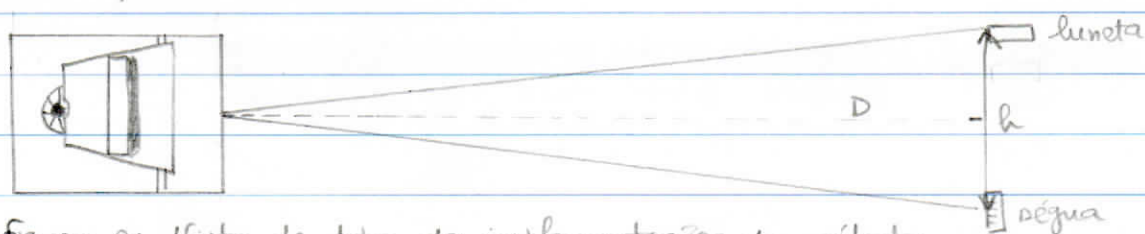
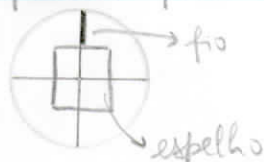


Figura 2: Vista de topo da implementação do método da alavanca ótica

### Plano de ação

- 1) Fazer a montagem do espelho, segundo a figura 1
- 2) Posicionar o suporte régua + luneta o mais afastado possível do espelho
- 3) Posicionar o suporte de modo a ser possível ver a escala pela luneta
- 4) Verificar que se continua a ver a escala mesmo com todos os pesos suspensos
- 5) Focar o retículo, fazendo deslizar  $T_3$  segundo o eixo da luneta
- 6) Focar imagem, ajustando parafuso lateral
- 7) Medir  $D$ , recorrendo a um fio de nylon (marcar com marcador)
- 8) Medir  $L_0$  desde o ponto de suspensão do fio até à plataforma
- 9) Medir diâmetro do fio em vários pontos do mesmo ( $\bar{d} \pm u(d)$ )
- 10) Garantir que o fio se encontra na vertical ao ver pela luneta

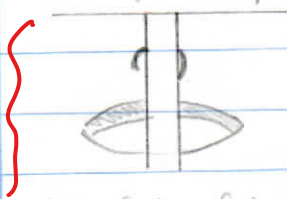


antes flexão  
do fio de  
modo a  
evitar erros  
sistemáticos

- 11) Registrar a pesagem das massas, identificando-as pelos n.ºs respectivos
- 12) Iniciar o processo de carga seguido do processo de descarga do prato  
(2 kg (1) → 1 kg (balas) → 2 kg) e registrar dados
- 13) Representar graficamente  $m(d)$  para carga e descarga (m.m.g.)
- 14) Identificar fator de ampliação da alavanca ótica:  $\text{Cantil} = \frac{2D}{b}$
- 15) Calcular os valores do módulo de Young:  $E = \frac{8aD \log}{b \pi \phi^2 g}$   
dedire

23/03/2022

Verificar que o fio se encontra vertical:



(A) Vista lateral



(B) Vista frontal

mão toca durante toda a exp.

AL Sol  
ML Sol  
m gráfico  
MB

## Análise de dados

Distância entre luneta e régua (h) / cm	
23,5	
24,1	
24,4	
h médio / m	0,241
u(h) / m	0,003

Comprimento inicial do fio (L <sub>0</sub> ) / cm	
74	
71	
71	
L <sub>0</sub> médio / m	0,71
u(L <sub>0</sub> ) / m	0,01

Diâmetro do fio (φ) / mm	
0,799	
0,799	
0,809	
0,833	
0,798	
φ médio / m	0,000799
u(φ) / m	0,000008

nº da massa	m / kg	u(m) / kg
1	2,0060	0,0001
2	1,0029	0,0001
3	0,9971	0,0001
4	1,0018	0,0001
5	1,0013	0,0001
6	0,9964	0,0001
7	0,9996	0,0001
8	0,9976	0,0001
9	1,0007	0,0001

Base do espelho (b) / m	0,0750
u(b) / m	0,0005

Diâmetro do espelho ao suporte (D) / m	2,7314
u(D) / m	0,0005

## - Processo de carga

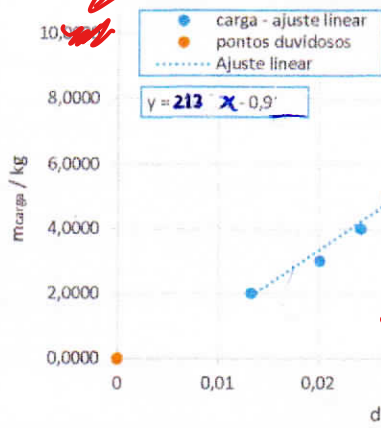
Nº de massas	mcarga / kg	Fcarga / N	L <sub>ci</sub> / m	d <sub>ci</sub> / m	a <sub>j</sub> (mcarga)	resíduos (mcarga)
0	0,0000	0,000	0,3072	0	-0,91744277	0,9174
1	2,0060	20,060	0,2939	0,0133	1,91392979	0,0921
1+2	3,0089	30,089	0,2871	0,0201	3,36154885	-0,3526
1+2+3	4,0060	40,060	0,2830	0,0242	4,23437799	-0,2284
1+2+3+4	5,0078	50,078	0,2802	0,0270	4,83045642	0,1773
1+2+3+4+5	6,0091	60,091	0,2756	0,0316	5,80972813	0,1994
1+2+3+4+5+6	7,0055	70,055	0,2717	0,0355	6,63998024	0,3655
1+2+3+4+5+6+7	8,0051	80,051	0,2652	0,0420	8,02373375	-0,0186
1+2+3+4+5+6+7+8	9,0027	90,027	0,2603	0,0469	9,06687101	-0,0642
1+2+3+4+5+6+7+8+9	10,0034	100,034	0,2551	0,0521	10,1738738	-0,1705



# Gráficos mal formados

Obs: a vermelha, encontra-se o ponto duvidoso, excluído do ajuste linear representado.

Ajuste linear			
m	213	-0,9072	b
sm	7	0,2654	sb
r2	0,9929	0,2459	sy



Dados de carga  
qualidade

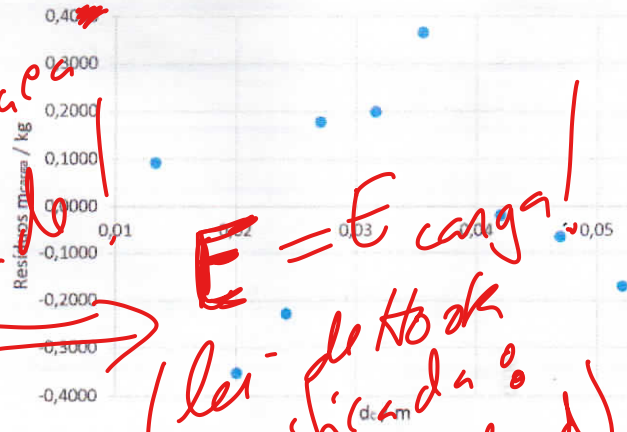


Figura 4: Gráfico de massa de carga em função do alongamento

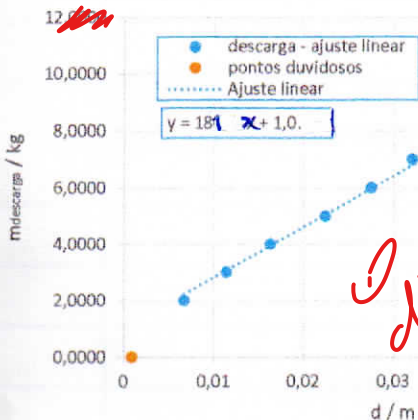
Figura 5: Gráfico de resíduos para o processo de carga

- Processo de descarga

Nº de massas	m descarga / kg	F descarga / N	Lar / m	ddi / m	aj (m descarga)	resíduos (m descarga)
1+2+3+4+5+6+7+8+9	10,0034	100,034	0,2551	0,0521	10,4246215	-0,4212
1+2+3+4+5+6+7+8	9,0027	90,027	0,2598	0,0474	9,57571756	-0,5730
1+2+3+4+5+6+7	8,0051	80,051	0,2712	0,0360	7,51667393	0,4884
1+2+3+4+5+6	7,0055	70,055	0,2751	0,0321	6,81226427	0,1932
1+2+3+4+5	6,0091	60,091	0,2797	0,0275	5,98142211	0,0277
1+2+3+4	5,0078	50,078	0,2848	0,0224	5,06027101	-0,0525
1+2+3	4,0060	40,06	0,2909	0,0163	3,95850205	0,0475
1+2	3,0089	30,089	0,2958	0,0114	3,07347453	-0,0646
1	2,0060	20,06	0,3005	0,0067	2,22457058	-0,2186
0	0,0	0	0,3081	0,0009	1,17698698	-1,1770

Obs: a vermelha, encontram-se os pontos duvidosos, excluídos do ajuste linear.

Ajuste linear			
m	181	1,0142	b
sm	8	0,2109	sb
r2	0,9897	0,3093	sy



o suporte das massas  
deve ter to cada  
nos suportes  
laterais  
do "set up".

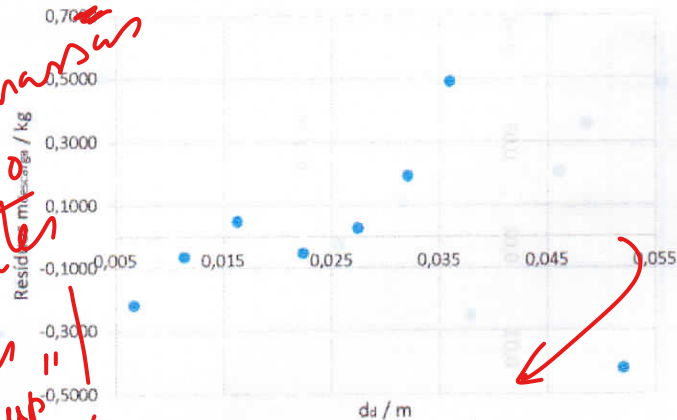


Figura 6: Gráfico de massa de descarga em função do alongamento.

Figura 7: Gráfico de resíduos para o processo de descarga.

Resultados finais	
$E_c / \text{Nm}^{-2}$	$2,2\text{E}+11$
$E_d / \text{Nm}^{-2}$	$1,8\text{E}+11$
Campl	72,8

Nota: Os valores aqui apresentados não apresentam o nº correto de algarismos significativos. Os valores finais são os abaixo apresentados.

$$u(E_c) = E_c \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(L_0)}{L_0}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + 4\left(\frac{u(\phi)}{\phi}\right)^2}$$

$$\approx 9 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$E_c = (2,16 \pm 0,09) \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$u(E_d) = E_d \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(L_0)}{L_0}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + 4\left(\frac{u(\phi)}{\phi}\right)^2}$$

$$\approx 7 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$E_d = (1,83 \pm 0,07) \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$u(\text{Campl}) = \text{Campl} \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2} \approx 0,5$$

$$\text{Campl} = 72,8 \pm 0,5$$

Sabemos que os valores do módulo de young devem pertencer à gama  $[1,700; 2,000] \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ . Para calcular o erro, usaremos o valor médio e, posteriormente, compararemos  $E_c$  com  $E_d$ .

$$\% (E_c) = \frac{|2,16 \times 10^{11} - 1,95 \times 10^{11}|}{1,95 \times 10^{11}} \times 100 \approx 10,8\%$$

$$\% (E_d) = \frac{|1,83 \times 10^{11} - 1,95 \times 10^{11}|}{1,95 \times 10^{11}} \times 100 \approx 6,15\%$$

$$\% (E_c - E_d) = \frac{|2,16 \times 10^{11} - 1,83 \times 10^{11}|}{1,95 \times 10^{11}} \approx 16,9\%$$

Comportamento elástico:  
%  $|E_c - E_d|$  pequeno!  
Lei de Hooke:  
Declivo do  $\log m$  (log d)  
 $\approx 1$  (% da life-  
nence = % erro)

Resultado? Finais?

Observaram isso e registaram - no no logbook?  
Conclusão: Em ambos os processos, não considerámos o ponto de massa 0kg, uma vez que, não havendo nenhuma massa suspensa, o fio não estava esticado e firme, pelo que não se pôde verificar a Lei de Hooke neste ponto. No entanto, esta foi verificada nos seguintes pontos, dado que se verificou uma relação linear entre massa e alongamento, apesar dos erros cometidos.

O comportamento elástico comprovou-se pelos valores do módulo de young, (dentro da ordem de grandeza esperada) cuja proximidade nos levaria a crer que, após remoção de carga, o material voltaria à sua forma original. No entanto, os erros foram elevados, o que se pode dever a erros de medição (observação pela luneta), mas também ao coeficiente de ampliação (72,8), que cria uma grande sensibilidade na experiência.