

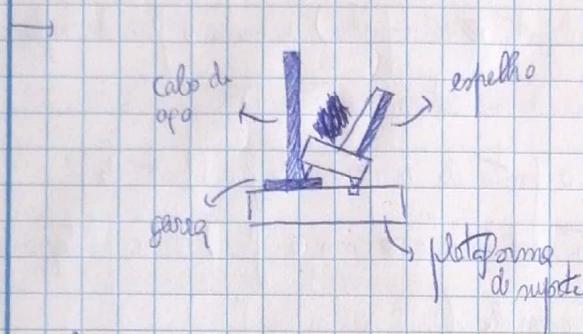
## T4B - Estudo do comportamento mecânico de um fio de aço reb. Traxf

Monica Helene Nunes da Silveira, Grupo 3, PLG

## Objetivos

- Verificações da Lei de Hooke
  - Verificação experimental do comportamento elástico de aço
  - Determinação do módulo de Young de um fio de aço

## Material

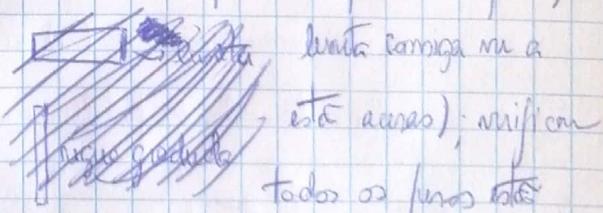


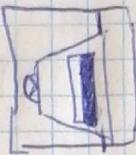
- fibra de mylonite
  - lágrima gredulosa
  - límita
  - marmas

- ~~memoria~~ memoria minicomputador
  - p.t.a matriz
  - Unidade KERN PCB

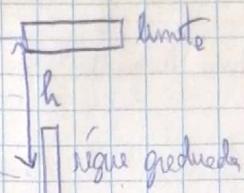
## Procedimientos experimentales

1. Posicionar o espelho cuidadosamente sobre a plataforma de suporte, cabecando os pinos de fronteira rumo à direita e o de trás rumo a gauche que este se lidaria com o cabo de apoio.
  2. Posicionar o suporte de escala + ~~lente~~ lente a distância máxima possível do plano do espelho, nader esse suporte da maneira que olhando pela escala (garantir que todos os lugares do laboratório que se contrarie na escala se intretem em que rumemos rumo ao ojo).

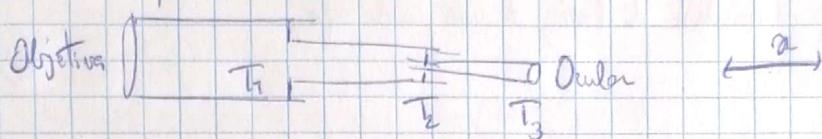




D

(mão da  
área)

3. Deslizar o suporte  $T_3$  de escalar segundo  $n$ , de modo a traçar o nódulo brum feido; através da projeção lateral do lumta, focar brum a imagem



4. Medir D cuidadosamente (distâncias da lumta ao suporte) usando o fio de nylon (levando a flexão do fio); estimar o erro associado à determinação de D

5. Registrar o valor da  $L_0$  medida desde o topo da superfície do fio (lado de medição no cilindro superior que está soldado com o fio) até à plataforma que suporta a base do suporte e é soldado com ele

6. Medir o diâmetro do fio em vários locais da mesma e calcular o diâmetro médio  $\bar{\varphi} \pm u(\varphi)$ , registrando os dados numa Tabela

Cuidados a ter antes de iniciar o processo da carga/descarga:

- garantir que o fio não entre em tensão, manipulando os parafusos existentes nos fios de apoio do suporte

- durante a execução da experiência, não alavanca os braços da máquina, isto é: (i) não os usar como mercearia (ii) se apoia sobre marras / balanço, nem (iii) se apoiar sobre os braços ou peito/nos dos marmos quando se realiza leitura

7. Fazer e registrar peragem das mãos: identificando os pilares mármores não amarelados

8. Iniciar o processo de carga seguido da função de descarga do mato superior, e levantando as marras desfornadas no laboratório: começam por marmo de  $\sim 2\text{kg}$ , seguido pelos de  $\sim 1\text{kg}$ , quando estes acedem pesos de  $\sim 2\text{kg}$ ; registrar dados

## Análise de dados

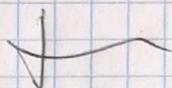
8. Reforçar o gráfico com o em função da d, para a carga e desenho, determinar a reta de ajuste mais adequada

9. Identificar os fatores de ampliação do alavanca que é utilizada

10. Calcular os valores do módulo de Young de carga e de desenho e verificar os resultados (valores provisórios quantificados das primeiras duas abordagens)

11. Considerar como referência alguns valores obtidos por outros grupos ou em anos anteriores e que devem pertencer à gama  $[200, 190] \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  OU consultar tabelas sobre propriedades físicas de metais e tentar identificar qual combinação (lige de aço temido)

12. Identificar o resultado final da análise



→ Redimensionar as massas

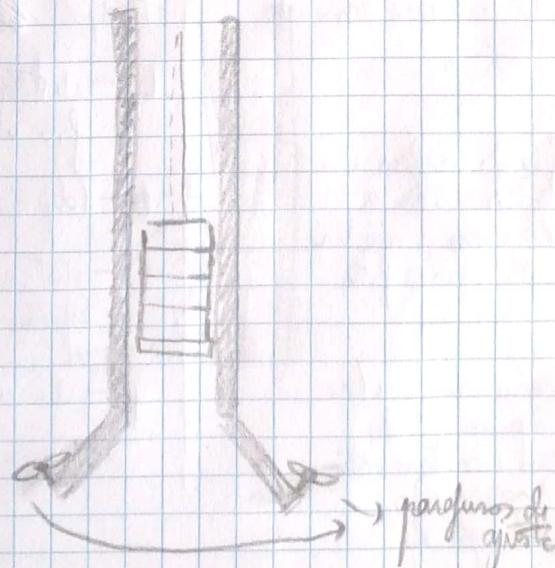
→ Verificar se que com os 3 pesos calculados ainda no formato inicial que a régua atinja de altura

→ Redimensionar com o fio de nylon garantindo que o fio esteja nos terminos (medir -> o fio de nylon e depois medir -> esse comprimento com a fita métrica)

→ Verificar se que o efeito estiver corretamente fixado

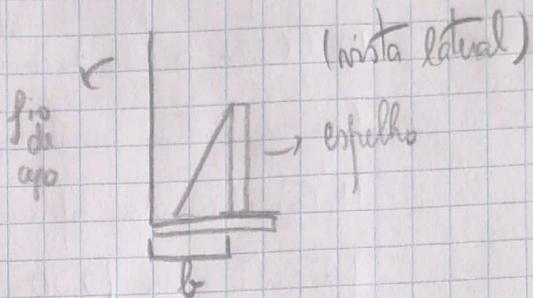
→ Medir -> diâmetro do fio em 2 pontos usando o micrômetro (sem carga, no suporte)

→ Correr a carga / desenho das roscas, verifica -> a circunferência das manetas, batendo este nas bases das roscas, além do fio não estar paralelo às bases por razão:

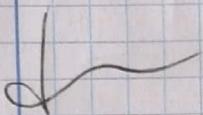


Animar, em cada configuração, foi necessário fixar a oscilopé desmarcado, e se verificar se nenhuma inclinação do fio, apertar o suporte mantendo os parafusos nos pés da gaveta.

→ Mediu-se b com o fio mylar



→ Mediu-se D 3 vezes com o fio mylar



### Dados

Massas		
	(g) $\pm 0.1$	(kg) $\pm 0.0001$
1	2006.0	2.0060
2	1002.9	1.0029
3	997.2	0.9972
4	1001.8	1.0018
5	1001.3	1.0013
6	996.4	0.9964
7	999.6	0.9996
8	997.6	0.9976
9	1000.8	1.0008

	(cm) $\pm 0.05$	(m) $\pm 0.0005$
L <sub>0</sub>	71.30	0.7130
b	5.50	0.0550
	258.20	
D	257.90	2.5810
	258.20	

	(mm) $\pm 0.005$	(m) $\pm 0.000005$
φ	0.795	
	0.798	
	0.794	
	0.807	0.000799

Determinação de D terá erro associado devido a:

- Não ter o fio de mylar nem temos a animar a medida e/ou a medir o comprimento com a fita métrica
- Não marcar o início e/ou fim de comprimento do fio de mylar corretamente

Medidas ~~erradas~~ de: (e repetitivas incorretas)

L<sub>0</sub> - distância desde o ponto de suspensão do fio até à plataforma que suporta o espelho

b - (definido no esquema acima)

D - distância desde o ponto central do espelho até ao ponto central da luneta

φ - diâmetro do fio

① CARGA

nº de m	m_carga	F_carga	L_ci	L_ci	d_ci	Ajuste linear 1	Resíduos
	(kg) $\pm$ 0.0001	(N) $\pm$ 0.0001	(cm) $\pm$ 0.05	(m) $\pm$ 0.0005	(m) $\pm$ 0.0005	(kg)	
0	0.0000	0.0000	30.90	0.3090	0.0000	0.9015	-0.9015
1	2.0060	19.6789	29.50	0.2950	0.0140	2.7696	-0.7636
1+2	3.0089	29.5173	29.05	0.2905	0.0185	3.3700	-0.3611
1+2+3	4.0061	39.2998	28.50	0.2850	0.0240	4.1039	-0.0978
1+2+3+4	5.0079	49.1275	28.05	0.2805	0.0285	4.7044	0.3035
1+2+3+4+5	6.0092	58.9503	27.60	0.2760	0.0330	5.3048	0.7044
1+2+3+4+5+6	7.0056	68.7249	27.20	0.2720	0.0370	5.8386	1.1670
1+2+3+4+5+6+7	8.0052	78.5310	26.00	0.2600	0.0490	7.4398	0.5654
1+2+3+4+5+6+7+8	9.0028	88.3175	24.70	0.2470	0.0620	9.1745	-0.1717
1+2+3+4+5+6+7+8+9	10.0036	98.1353	23.90	0.2390	0.0700	10.2419	-0.2383

Tabela 1.1.

~~Tableau des mesures de la charge et de l'élongation~~ Calculo de carga no suporte (m<sub>carga</sub>) e  
medida de L<sub>ci</sub> (leitura efectuada na escala graduada).  $d_{ci}$  representa  
a elongação e correspondente para cada carga, à diferença entre a varia L<sub>ci</sub>  
medido e ao valor L<sub>ci</sub> inicial (0.3090 m)

Ajuste linear 1			
m <sub>1</sub>	133.44	0.90	b <sub>1</sub>
s(m <sub>1</sub> )	8.34	0.39	s(b <sub>1</sub> )
r <sup>2</sup>	0.98	0.40	s(y <sub>1</sub> )

Tabela 1.2. Dados ajuste linear 1

⊗ A unidade de d<sub>ci</sub> é igual à unidade de medida de L<sub>ci</sub> em unidades SI

m\_carga em função de d\_ci

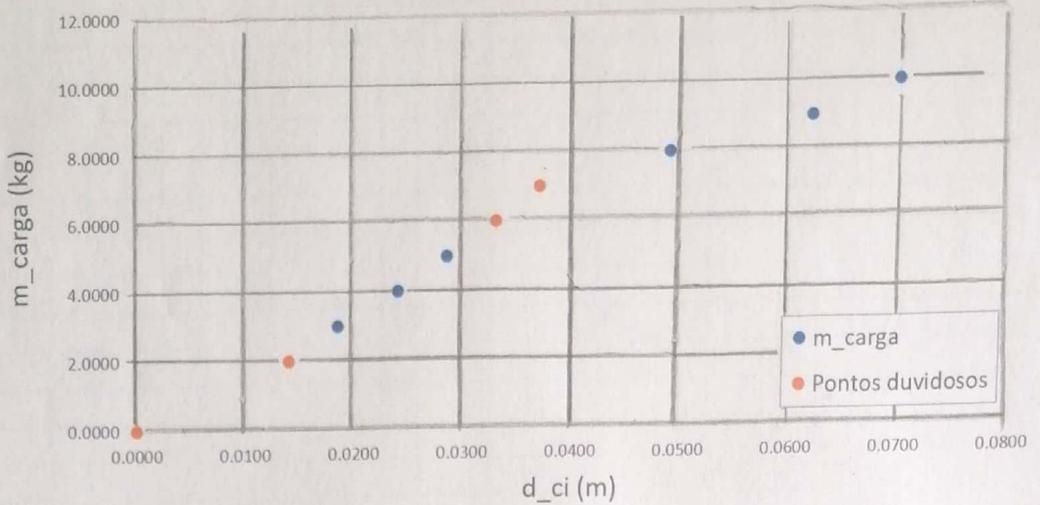


Gráfico 1.1.

Ajuste linear 1

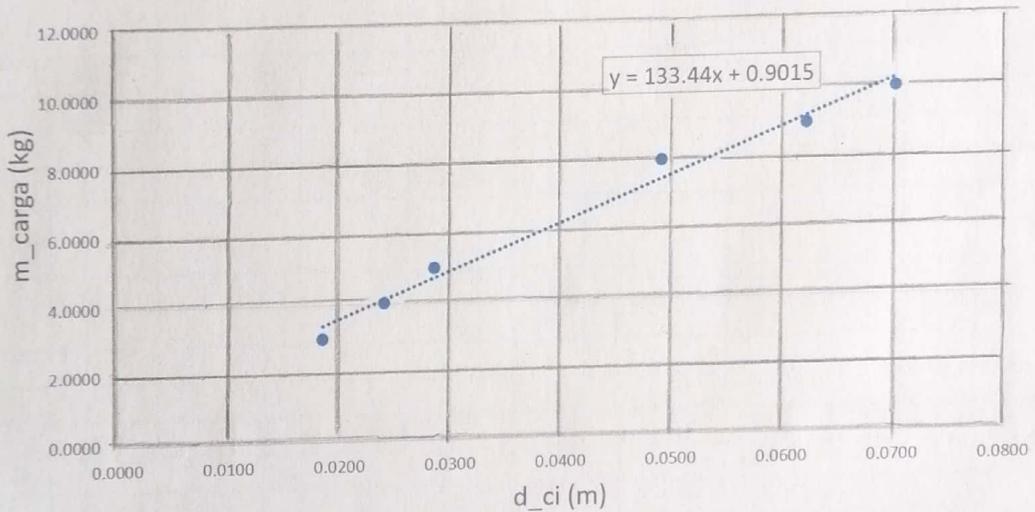


Gráfico 1.2.

Resíduos Aj. 1

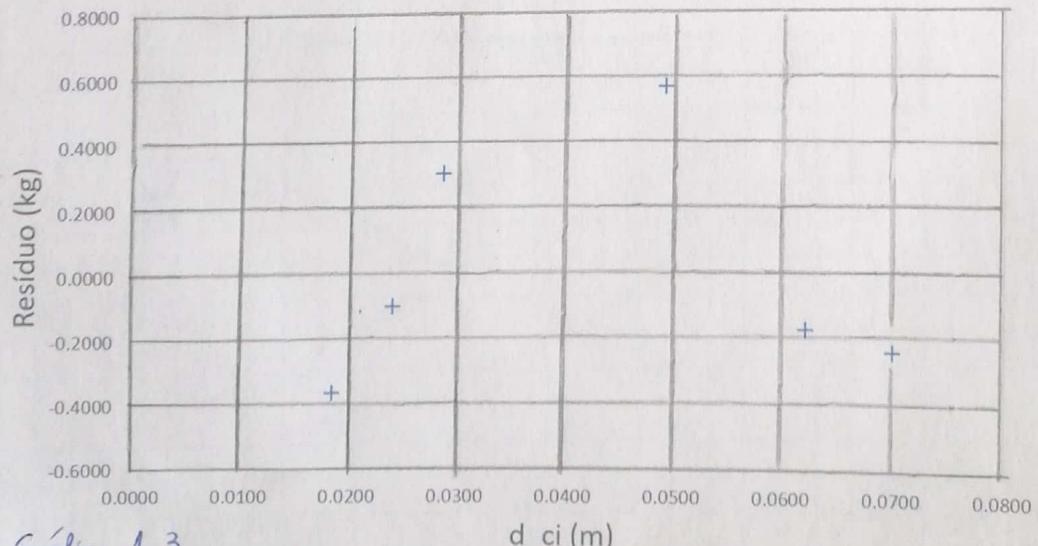


Gráfico 1.3.

## ② DESCARGA

nº de m	M_descarga	F_descarga	L_di	L_di	d_di	Ajuste linear 2	Resíduos
	(kg) $\pm 0.0001$	(N) $\pm 0.0001$	(cm) $\pm 0.05$	(m) $\pm 0.0005$	(m) $\pm 0.0005$	(kg)	
1+2+3+4+5+6+7+8+9	10.0036	98.135316	23.90	0.2390	0.0700	9.4782	0.5254
1+2+3+4+5+6+7+8	9.0028	88.317468	24.40	0.2440	0.0650	8.6526	0.3502
1+2+3+4+5+6+7	8.0052	78.531012	24.90	0.2490	0.0600	7.8270	0.1782
1+2+3+4+5+6	7.0056	68.724936	25.10	0.2510	0.0580	7.4967	-0.4911
1+2+3+4+5	6.0092	58.950252	25.50	0.2550	0.0540	6.8362	-0.8270
1+2+3+4	5.0079	49.127499	25.80	0.2580	0.0510	6.3408	-1.3329
1+2+3	4.0061	39.299841	26.40	0.2640	0.0450	5.3501	-1.3440
1+2	3.0089	29.517309	26.80	0.2680	0.0410	4.6895	-1.6806
1	2.0060	19.67886	27.50	0.2750	0.0340	3.5337	-1.5277
0	0.0000	0	29.80	0.2980	0.0110	-0.2643	0.2643

Táble 2.1. Cálculo da carga no suspenso ( $M_{descarga}$ ) e medida de  $L_{di}$  (lectura

extraída no exele gredude).  $d_{di}$  representa a elongación e corresponde, para cada carga, à diferenza entre ~~o valor  $L_{di}$  medido e o valor  $L_{ci}$  inicial~~

~~o valor  $L_{di}$  medido e o valor  $L_{ci}$  final~~ e o punto ~~final~~ do ~~extremo~~ de ~~extremo~~ de ~~extremo~~

~~o valor  $L_{di}$  medido e o valor  $L_{ci}$  final~~ e o ponto ~~final~~ do ~~extremo~~ de ~~extremo~~ de ~~extremo~~

~~o valor  $L_{di}$  medido e o valor  $L_{ci}$  final~~ e o ponto ~~final~~ do ~~extremo~~ de ~~extremo~~ de ~~extremo~~

~~o valor  $L_{di}$  medido e o valor  $L_{ci}$  final~~ e o ponto ~~final~~ do ~~extremo~~ de ~~extremo~~ de ~~extremo~~

O mínimo valor de  $L_{di}$  deste táble correspondé ao último valor

de  $L_{ci}$  da táble 1.1. \*

Ajuste linear 2			
$m_2$	165.13	-2.08	$b_2$
$s(m_2)$	12.52	0.71	$s(b_2)$
$r^2$	0.98	0.60	$s(y_2)$

Táble 2.2. Dados ajuste linear 2

\* A imaxenza de  $d_{di}$  é igual á imaxenza de medida de  $L_{di}$  en unidade SI

M\_descarga em função de d\_di

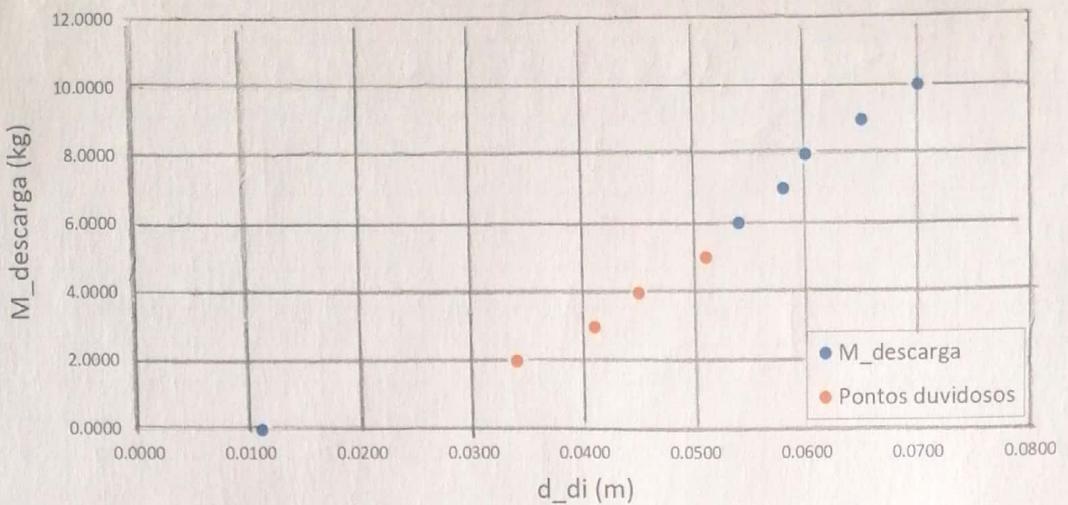


Gráfico 2.1.

Ajuste linear 2

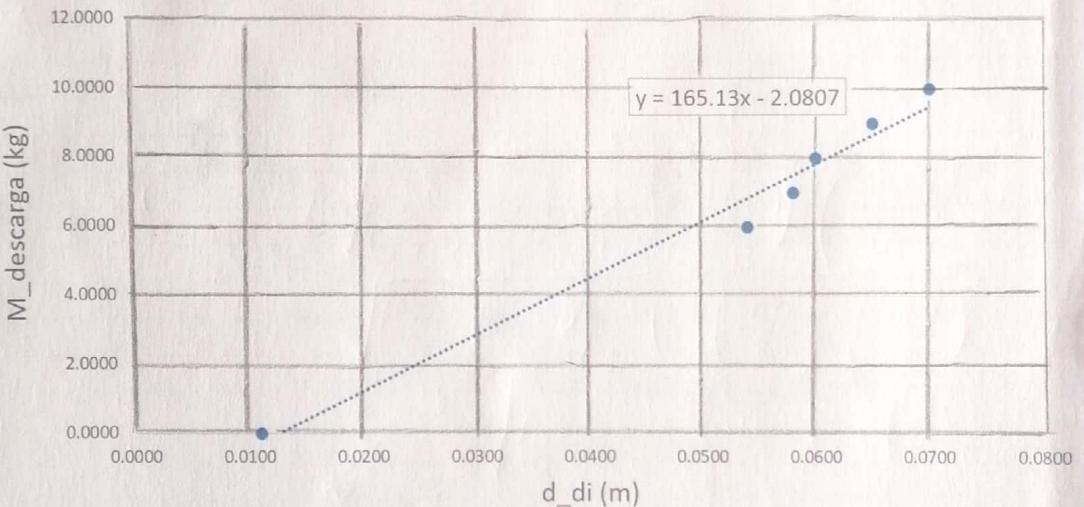


Gráfico 2.2.

Resíduos Aj. 2

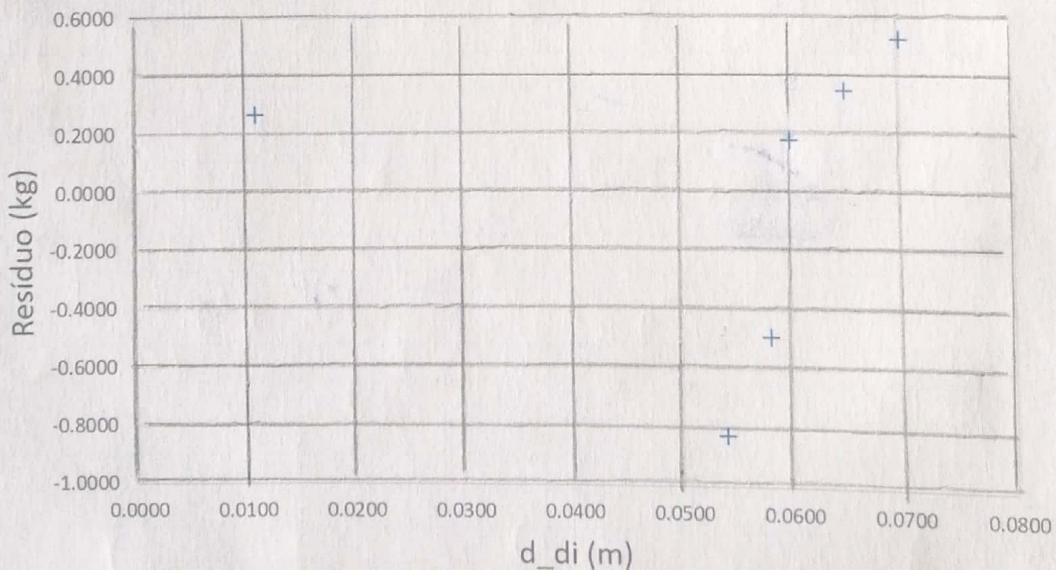


Gráfico 2.3.

### ③ MÓDULO DE YOUNG

	Valor	Incerteza
c_ampliação	93.9	0.9

Tabela 3.1.: Determinação do coeficiente de ampliação da balança Hica ( $c_{ampliação}$ ) e respectiva incerteza

$E_{exp}$ (N/m <sup>2</sup> )	Valor	Incerteza	Erro relativo (%)
Carga	1.75E+11	1.13E+10	8%
Descarga	2.16E+11	1.68E+10	14%
Média	1.96E+11	2.08E+10	3%

$$E_{teo} = 1.90E+11 \text{ N/m}^2$$

Tabela 3.2. Valores experimentais do módulo de Young ( $E$ ) e respectiva incerteza e erro relativo

### ~~Discussão~~

#### ① CARGA

- Observando o gráfico 1.1, embora os pontos entre ~~0.0100~~ e 0.0400 cm apresentem uma forte ~~tendência~~ linear, estes não foram todos utilizados para o ajuste linear 1. Tal se deve ao fato de ter sido durante o seu registro que ocorreu de forma significativa a oscilação das massas (mais precisamente, as massas a latir contra os lados do suporte), mas estando o fio de apoio preso às laterais do suporte.

~~O ponto inicial~~ também não se adequava ao ~~ajuste linear~~ (o fio de apoio ainda não encontrava um ponto).

- No gráfico 1.1, as bases de zero não foram consideradas pois ~~mas~~ mínimas me escala escaleadas, não sendo úteis para a determinação do ajuste mais adequado aos dados experimentais (depõem ~~apenas~~ de incertezas de medições e não de incertezas propagadas, nenhuma explicação)

## ② DESCARGA

- De acordo com o gráfico 2.1. (e gráfico 2.2), os 6 pontos amarelados não forem utilizados para o ajuste linear 2 para afirmarmos um significativo devido relativamente à linha de tendência inicial, que inclui todos os valores.
- No gráfico 2.1., os 6 pontos de erro não foram colocados mais cedo nos mínimos e nem exaltados, mas quando é útil para determinar o ajuste mais adequado aos dados experimentais (dependem apenas da magnitude das medições e não da magnitude propagada, nessa experiência).

## ③ MÓDULO DE YOUNG

- Tabela 3.1.: O coeficiente de amplitude é determinado pela fórmula

$$c_{\text{amplitude}} = \frac{2D}{b}, \text{ sendo a sua incerteza } \underline{\text{propagada}} \text{ calculada pela expressão:}$$

$$\begin{aligned} u(c_{\text{amplitude}}) &= \sqrt{\left( \frac{d(c_{\text{amplitude}})}{D} \right)^2 u(D)^2 + \left( \frac{d(c_{\text{amplitude}})}{b} \right)^2 u(b)^2} \\ &= \sqrt{\left( \frac{2}{b} \cdot u(D) \right)^2 + \left( -\left( \frac{2D}{b^2} \right) \cdot u(b) \right)^2} \\ &= \underline{\text{propagada}} \sqrt{\left( \frac{2}{0.050} \times 0.0005 \right)^2 + \left( -\frac{2 \times 2.5810 \times 0.0005}{(0.050)^2} \right)^2} \end{aligned}$$

$\approx 0.2$ , como referido na Tabela

- Tabela 3.1.: O valor de  $c_{\text{amplitude}}$  determinado é um valor muito menor que 1, como esperado, tendo também uma incerteza bastante reduzida.

- Tabela 3.2.: De acordo com a lei de Hooke, o módulo de Young é calculado pela seguinte expressão:

$$m = \frac{E b \pi \varphi^2 d}{8 D L_0} \Rightarrow \frac{m}{d} = \frac{E b \pi \varphi^2}{8 D L_0}$$

$\circlearrowleft$  declive do ajuste linear

$$\Rightarrow E = m_1 \left( \frac{8 D L_0}{b \pi \varphi^2} \right) \text{ para a carga } ( \text{substitui } -n \text{ em } m_1 \text{ por } m_2 \text{ para a descarga})$$

Por dimensão dimensional, tendo o módulo  $E$  de Young as unidades  $N/m^2$ ,

Não é necessário multiplicar a expressão obtida pelo valor de nenhuma das grandezas.

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

A incerteza propaga da módulo de Young obtém - se pela expressão

$$\begin{aligned} u(E) &= \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial m_1} u(m_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial D} u(D)\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial L} u(L)\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial b} u(b)\right)^2 + \cancel{\left(\frac{\partial E}{\partial \varphi} u(\varphi)\right)^2}} \\ &= \sqrt{\left(\frac{L \cdot 8 \cdot 9,81}{(b \pi \varphi^2)^2} \cdot D \cdot b \cdot \pi \cdot \varphi^2 \cdot u(m_1)\right)^2} \\ &\quad + \left(\frac{L \cdot 8 \cdot 9,81}{(b \pi \varphi^2)^2} \cdot m_1 \cdot b \cdot \pi \cdot \varphi^2 \cdot u(D)\right)^2 \rightarrow \begin{array}{l} \text{relativos - m m,} \\ \text{por m, para a} \\ \text{incerteza de} \\ E \text{ desacordo} \end{array} \\ &\quad + \left(\frac{m_1 \cdot 8 \cdot 9,81}{(b \pi \varphi^2)^2} \cdot D \cdot b \cdot \pi \cdot \varphi^2 \cdot u(L)\right)^2 \\ &\quad + \left(\frac{m_1 \cdot 8 \cdot 9,81}{(b \pi \varphi^2)^2} \cdot D \cdot L \cdot \varphi^2 \cdot \pi \cdot u(b)\right)^2 \\ &\quad + \left(\frac{m_1 \cdot 8 \cdot 9,81}{(b \pi \varphi^2)^2} \cdot D \cdot L \cdot b \cdot \pi \cdot \varphi \cdot u(\varphi)\right)^2 \end{aligned}$$

Assim, temos que os valores determinados para o módulo de Young são:

$$E_{\text{carga}} = ((1,75 \pm 0,11) \times 10^{11}) \text{ N/m}^2$$

$$E_{\text{descarga}} = ((2,16 \pm 0,17) \times 10^{11}) \text{ N/m}^2$$

$$E_{\text{média}} = ((1,96 \pm 0,21) \times 10^{11}) \text{ N/m}^2$$

↳ incerteza calculada pela expressão

$$u(E_{\text{média}}) = \frac{\text{dúvio - férias } (E_{\text{carga}}, E_{\text{descarga}})}{\sqrt{2}}$$

De acordo com a Tabela 3.2., a menor força que o fio suportou foi menor que a menor força que o fio suportou durante a descarga.

- De acordo com a Tabela 3.2., a menor força que o fio suportou é menor do que a menor força que o fio suportou durante a descarga das massas. Tal explica - se por:
  - A descarga das massas constitui a 2ª parte da experiência, logo o fio deformado adicionalmente durante a tensão permaneceu paralelo ao eixo do ruptor, de modo a não ocorrer o mesmo efeito que aconteceu durante a carga das massas (ver gráfico 1.1). Assim, houve deformação adicional do fio.
  - Dada a oscilação das massas na 1ª parte da experiência, durante a descarga da rede massas, foi perdido tempo a garantir que o fio de aço estivesse realmente paralelo à barra do ruptor, de modo a não ocorrer o mesmo efeito que aconteceu durante a carga das massas.
- Assim, a incerteza para a menor carga e descarga das massas reduzida e,

apurar de  $E_{carga}$  e  $E_{descarga}$  não se encontravam na forma desejada,  $(1.90 - 2.00) \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ , o valor final,  $E_{média}$ , já se encontrava, tendo também uma menor probabilidade reduzida. Como tal, o ajuste linear escolhido tanto para a carga como a descarga foi adequado, verificando a relação proporcional entre a tensão do fio (que aumenta com o aumento da carga no suporte) e a sua deformação, ou seja, é evidente o comportamento elástico do apoio, tal que a lei de Hooke é consistente com os dados observados.

### Conclusão

- Determinou-se, para um fio de apoio, o seu módulo de Young com erros e imprecisões reduzidas, obtendo-se dados estatisticamente significativos, o que é muito útil para a aplicação da lei de Hooke.
- Assim, verificou-se experimentalmente o comportamento elástico do apoio e confirmou-se que a lei de Hooke pode ser aplicada à situação experimental em causa.

### Anexo

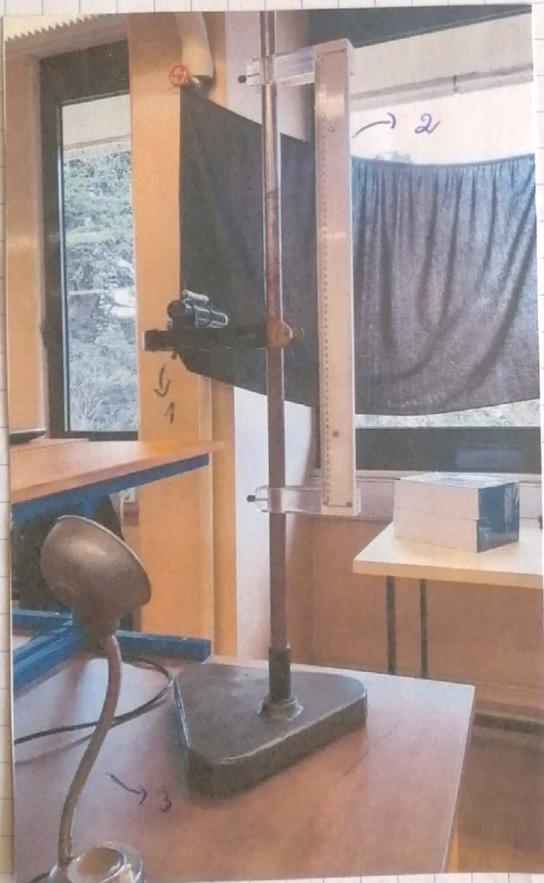


Figura 1: Montagem experimental do suporte com a lente (1), a régua graduada (2) e uma pantume (3, mas refere-se ao procedimento, sendo utilizada para uma melhor visualização de escala)

⊗ ainda que a oscilação dos pesos no suporte tenha afetado significativamente os dados experimentais e, consequentemente, o ajuste linear