

# TSA - Determinação de momentos de inércia utilizando um método oscilatório

Maria Helena Nunes de SIlva - Grupo 4, PLG

25/03

## Objetivos

- Determinação do momento de inércia de alguns sólidos
- Verificação do teorema de Steiner

## Material

- Barras de náilon principal com massa conhecida
- Barras para cilindros
- Fotogatil ligado ao contador de tempo dos osciladores
- Barras com massas desbalanceadas,  $m_1$  e  $m_2$
- Diferentes sólidos (ex: cilindro aço)
- Balança digital
- Fita métrica
- Grampeira e micrómetro

## Procedimento experimental - Momento de um sistema de partículas e Teorema de Steiner

1. Usar a rota e os duas massas  $m_1$  e  $m_2$  (em princípio iguais) que se encontra
2. Pesar e registar os valores das massas  $m_1$  e  $m_2$  e a massa da rota
3. Medir o comprimento  $L$  da rota
4. Bloco as duas massas  $m_1$  e  $m_2$  a distâncias iguais do centro da rota, respeitando a maior distância possível; medir e registar a distância entre os centros de massa e o ponto central da rota (ponto do eixo de rota)
5. Alinear o sistema para a sua posição de equilíbrio
6. Rodar o sistema um ângulo  $\theta = 180^\circ$  (cuidado a não exceder uma rota no sistema pois a rota altera a sua constante  $K$  se dimensionada comprimindo, ou distendendo, uns  $30^\circ$  preferencialmente) no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, (sentido direto D) e registar o período  $T$ , correspondente a uma oscilação direta completa  $\Rightarrow$  fez menos 3 registos

7. Rodar o sistema do moinho tanto no sentido dos ponteiros do relógio (sentido inverso)

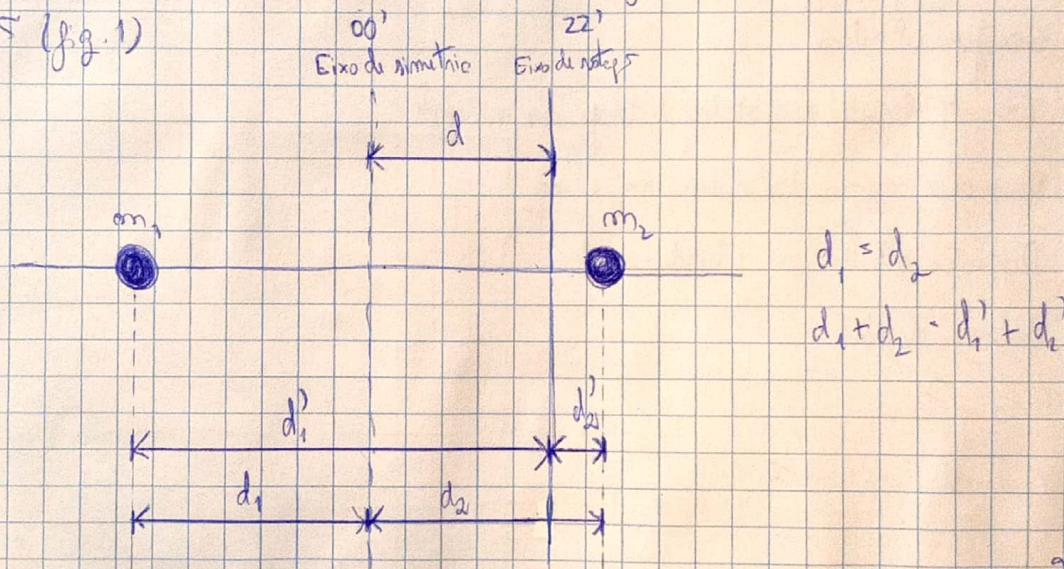
I) e registrar o tempo  $T_1$  correspondente a varas esculpidas inscritas completas  $\Rightarrow$

$\rightarrow$  pula moinhos 3 segundos

8. Repetir os passos 4 a 7 para outras distâncias das massas ao eixo, tendo em vista o cálculo de D através da unha análise gráfica de  $I^1$  ( $T^1$ ) através de círculos proporcionalmente

9. Determinar D experimentalmente com os dados obtidos e posteriormente I usando os valores de D e os valores de  $T^2$  obtidos experimentalmente

Considerar rotog<sup>5</sup> em que o eixo de simetria do conjunto não coincide com o eixo de rotog<sup>5</sup> (fig. 1)



10. Considerando dois valores diferentes para o parâmetro d, repetir passos 5 a 7 para determinar púndos dos momentos e registrá-los

11. Testar o Teorema de Steiner

Procedimento experimental - Momento de Inércia de Sólidos

1. Substituir a massa pelo sólido a estudar e comparar pula cilindro des

com rotação  
e miacôndra

2. Peso cilindro des e medir as suas dimensões características

3. Proceder como anteriormente para determinar o púndos do momento (metar que dão os resultados, retirar o efeito de rotação em sede zero)

4. Se houver tempo realizar experimentos com outros sólidos

### Análise de resultados

- Para tabela com  $d_1 = d_2$ :
  - Determinar D através de análise gráfica de  $I'(\tau^4)$
  - Calcular diferença relativa ao valor  $I'(|I' - I|/I')$  de modo a comparar  $I$  e  $I'$ , com base nos resultados
- Para tabela com  $d_1 \neq d_2$ :
  - Verificar se é válido Teorema de Steiner: calcular diferença entre o valor do momento de inércia relativo ao eixo paralelo ( $I_{ze}$ ) e relativo ao eixo de simetria ( $I_{00}$ )
  - Comparar com valor previsto pelo Teorema de Steiner ( $M = m_1 + m_2$ ) e com base nos resultados
- Para tabela para diferentes sólidos:
  - Comparar valores obtidos experimentalmente para o momento de inércia dos diferentes sólidos

### Nota:

Por falta de tempo, mas foi possível realizar medidas e determinar experimentalmente o momento de inércia para sólidos além dos cilindros.

Dados:

$$\text{Paralelo} \\ (8) \pm 0,01$$

mm	212,39
	212,39
	212,39
	210,39
m <sub>3</sub>	210,39
	210,39

$$l = (61,00 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$m_{\text{vazia}} = (132,24 \pm 0,01) \text{ g}$$

h	
(cm)	$\pm 0,02$
1	4,14
2	4,14

$$d_1 = d_2$$

$$(\text{cm}) \pm 0,01$$

$$1/2 T_b$$

$$(n) \pm 0,001$$

$$1/2 T_f$$

$$(n) \pm 0,001$$

50,20/2		3,936	3,826
+	22,17	3,932	3,823
4,14/2		3,930	3,819
40,20/2		3,358	3,214
+	22,17	3,355	3,209
4,14/2		3,352	3,208
30,00/2		2,766	2,584
+	12,07	2,765	2,576
4,14/2		2,765	2,578
20,00/2		2,188	2,036
+	12,07	2,186	2,035
4,14/2		2,186	2,034
10,00/2		1,709	1,583
+	7,07	1,707	1,583
4,14/2		1,707	1,583
47,00/2		3,794	3,700
+	25,57	3,792	3,692
4,14/2		3,792	3,683
37,00/2		3,165	3,029
+	20,57	3,163	3,030
4,14/2		3,158	3,037
26,00/2		2,540	2,355
+	15,07	2,541	2,357
4,14/2		2,538	2,353
16,80/2		1,956	1,945
+	10,47	1,951	1,944
4,14/2		1,942	1,945
5,60/2		1,463	1,339
+	4,77	1,461	1,335
4,14/2		1,462	1,334

$d$ (cm) $\pm 0,05$	$d$ (cm) $\pm 0,05$	$1/2 T_D$ (s) $\pm 0,001$	$1/2 T$ (s) $\pm 0,001$
34,50	21,30	3,722	4,777
+ 4,14/2	+ 4,14/2	3,720	4,735
36,09	16,85	3,736	4,746
+ 4,14/2	+ 4,14/2	5,060	4,916
		5,050	4,894
		5,070	4,867
41,45	11,50	4,869	4,966
+ 4,14/2	+ 4,14/2	4,801	4,947
		4,896	4,963

diametro minimo (cm) $\pm 0,02$	diametro maximo (cm) $\pm 0,02$	altura (cm) $\pm 0,02$	$1/2 T_D$ (s) $\pm 0,001$	$1/2 T$ (s) $\pm 0,001$	m (g) $\pm 0,01$
9,76	11,3	18,2	0,589 0,573 0,585	0,583 0,587	370,02

# Amálix de dados

$$\text{massas (kg)} \pm 10^{-5}$$

$m_1$	0,21239
$m_2$	0,21079

$$L = (0,6100 \pm 0,0005) \text{ cm}$$

~~0,6100~~  
~~0,6100~~

dados  
verdade

$$m = (0,13224 \pm 0,00001) \text{ kg}$$

- ① Momento de um sistema de partículas com  $d_1 = d_2$  (massas  $m_1$  e  $m_2$  coladas a igual distância do eixo de rotação)

$d_1=d_2$ (m) $\pm$ E-04	$1/2 T_D$ (s) $\pm$ E-03	$\bar{T}_D$ (s) $\pm$ 2E-03	$1/2 T_I$ (s) $\pm$ E-03	$\bar{T}_I$ (s) $\pm$ 2E-03	T (s)	Incerteza T	$T^2$	Incerteza $T^2$ (s <sup>2</sup> )
0.0477	1.463	2.924	1.535	3.069	2.997	0.073	8.980	0.436
	1.461		1.535					
	1.462		1.534					
0.0707	1.709	3.415	1.583	3.166	3.291	0.125	10.828	0.820
	1.707		1.583					
	1.707		1.583					
0.1047	1.954	3.903	1.945	3.889	3.896	0.007	15.179	0.052
	1.951		1.944					
	1.949		1.945					
0.1207	2.188	4.373	2.036	4.070	4.222	0.152	17.822	1.281
	2.186		2.035					
	2.186		2.034					
0.1507	2.540	5.079	2.355	4.713	4.896	0.183	23.971	1.795
	2.541		2.357					
	2.538		2.357					
0.1707	2.766	5.531	2.584	5.159	5.345	0.186	28.565	1.988
	2.765		2.576					
	2.765		2.578					
0.2057	3.165	6.324	3.029	6.060	6.192	0.132	38.341	1.635
	3.163		3.030					
	3.158		3.031					
0.2217	3.358	6.710	3.214	6.421	6.565	0.145	43.104	1.900
	3.355		3.209					
	3.352		3.208					
0.2557	3.794	7.585	3.700	7.383	7.484	0.101	56.015	1.512
	3.792		3.692					
	3.792		3.683					
0.2717	3.936	7.865	3.826	7.645	7.755	0.110	60.145	1.706
	3.932		3.823					
	3.930		3.819					

Tabela 1.1: Medidas de  $d_1 = d_2$  e  $T$  e determinação de  $T^2$  e respectivas incertezas

$I'$	Incerteza $I'$ (kg m <sup>2</sup> )	$I$	Incerteza $I$	Diferença relativa $I$ e $I'$
5.063E-03	7.310E-06	5.207E-03	2.572E-04	2.841E-02
6.216E-03	7.949E-06	6.279E-03	4.794E-04	1.019E-02
8.739E-03	9.196E-06	8.802E-03	8.779E-05	7.131E-03
1.027E-02	9.875E-06	1.033E-02	7.489E-04	6.736E-03
1.371E-02	1.126E-05	1.390E-02	1.049E-03	1.378E-02
1.643E-02	1.224E-05	1.656E-02	1.163E-03	8.094E-03
2.201E-02	1.404E-05	2.223E-02	9.705E-04	1.029E-02
2.490E-02	1.489E-05	2.499E-02	1.126E-03	3.793E-03
3.177E-02	1.674E-05	3.248E-02	9.280E-04	2.243E-02
3.534E-02	1.763E-05	3.488E-02	1.042E-03	1.311E-02

Tabela 1.2.: Determinantes de  $I$  e  $I'$ , respectivas incertezas  
e diferença relativa

Ajuste linear 1			
$m$	5.799E-04	-1.231E-04	$b$
$s(m)$	5.433E-06	1.899E-04	$s(b)$
$r^2$	9.99E-01	3.00E-04	$s(y)$

Tabela 1.3.: Dados ajuste linear 1

	Valor	Incerteza
$D$ ((kg m <sup>2</sup> )/s <sup>2</sup> )	2.289E-02	2.145E-04

Tabela 1.4.: Determinante de  $D$ , respectiva incerteza

## Determinação da constante D

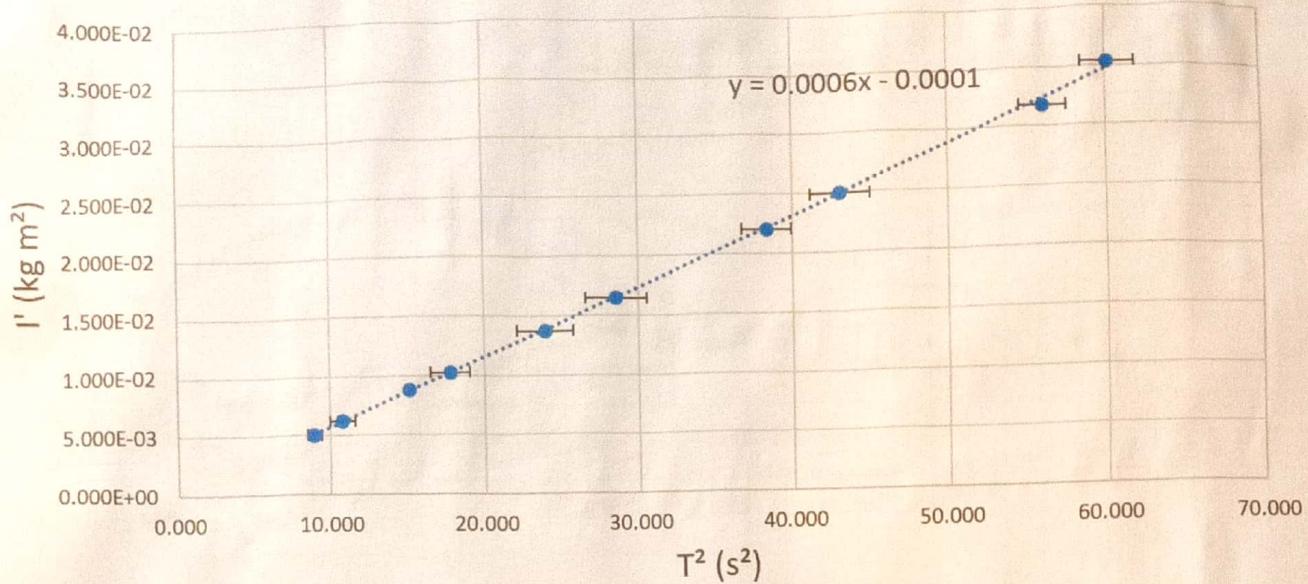


Grafico 1.1.

Diferença relativa I e I' em função de d<sub>1</sub>=d<sub>2</sub>

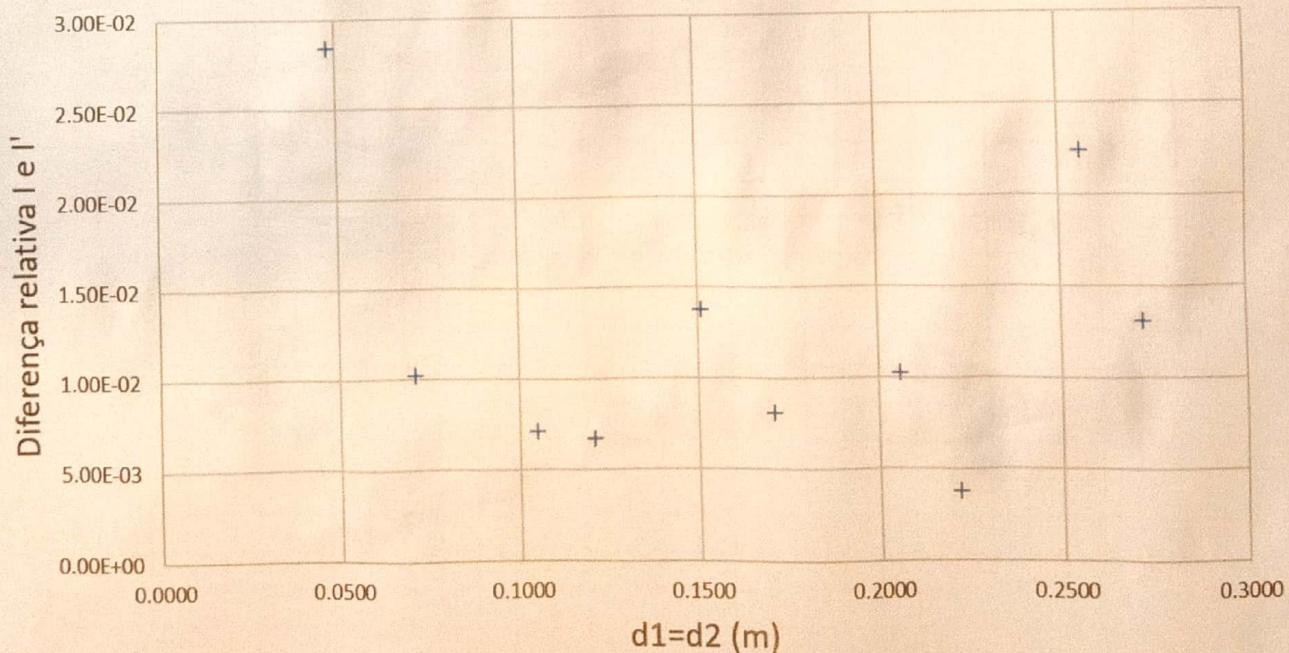


Grafico 1.2.

② Momento de um sistema de partículas  $d_1' \neq d_2'$  (eixo de rotação não coincide com o eixo da simetria) e Teorema de Steiner

$d_2$  (m)  $\pm E-04$

0.2842

→ valor de  $d_2$  utilizado para a determinação de todos os valores de  $d$

$d_1'$ (m) $\pm E-04$	$d_2'$ (m) $\pm E-04$	$d$ (m) $\pm E-04$	$d^2$ (m <sup>2</sup> )	Incerteza $d^2$
0.3357	0.2337	0.0505	2.550E-03	1.010E-05
0.3812	0.1892	0.0950	9.025E-03	1.900E-05
0.4352	0.1357	0.1485	2.205E-02	2.970E-05

Tabela 2.1. : Medidas de  $d_1'$  e  $d_2'$  e determinações de  $d$  e suas incertezas

$1/2 T_D$ (s) $\pm E-03$	$\bar{T}_D$ (s) $\pm 2E-03$	$1/2 T_I$ (s) $\pm E-03$	$\bar{T}_I$ 9.505	$T$ 8.479	Incerteza $T$ (s)	$T^2$	Incerteza $T^2$ (s <sup>2</sup> )
3.722		4.779					
3.720	7.452	4.735	9.505	8.479	1.027	71.888	17.410
3.736		4.744					
5.060		4.916					
5.050	10.120	4.894	9.785	9.952	0.168	99.049	3.337
5.070		4.867					
4.869		4.966					
4.801	9.709	4.947	9.917	9.813	0.104	96.302	2.041
4.894		4.963					

Tabela 2.2. : Medidas de  $T$  e determinações de  $T^2$  e suas incertezas

$I_{ZZ'}$	Incerteza $I_{ZZ'}$	$I_{OO'}$	Incerteza $I_{OO'}$	$I_{ZZ'} - I_{OO'}$	Incerteza $I_{ZZ'} - I_{OO'}$
4.169E-02	1.010E-02	3.955E-02	1.864E-05	2.138E-03	1.010E-02
5.744E-02	2.009E-03	4.251E-02	1.932E-05	1.493E-02	2.009E-03
5.584E-02	1.294E-03	4.821E-02	2.058E-05	7.634E-03	1.204E-03

Tabela 2.3 : Determinação de  $I_{zz'}$ ,  $I_{oo'}$ ,  $I_{zz'}$  -  $I_{oo'}$  e respectivos incertezas

Ajuste linear 2		
$m$	0.1605	0.0064
$s(m)$	0.6256	0.0087
$r^2$	0.0617	0.0088

Tabela 2.4 : Dados ajuste linha 2

M (kg)	Valor	Incerteza
Teórico	0.4232	---
Experimental	0.1605	0.6256

Erro relativo percentual 62.1%

Tabela 2.5 : Determinação de M e respectiva incerteza e erro relativo

## Relação Teorema de Steiner

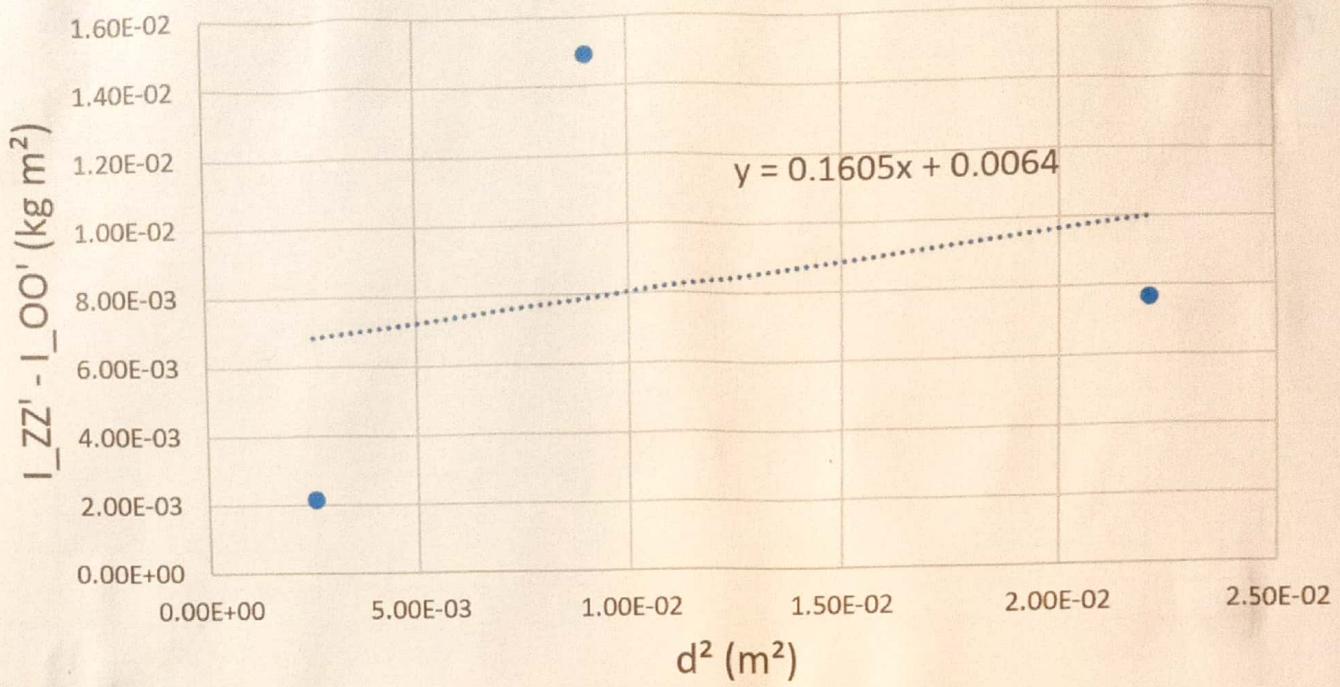


Gráfico 2.1.

③ Momento de inércia do cilindro a seco

$m_{cilindro}$	$r_{int}$	$r_{ext}$
(kg) $\pm E-05$	(m) $\pm E-04$	(m) $\pm E-04$
0.37002	0.0485	0.0565

Tabela 3.1. Dimensões características do cilindro em unidades SI

$1/2 T_D$	$\bar{T}_D$	$1/2 T_I$	$\bar{T}_I$	T	Incerteza T	$T^2$	Incerteza $T^2$
(s) $\pm E-03$	(s) $\pm 2E-03$	(s) $\pm E-03$	(s) $\pm 2E-03$	(s)	(s)	(s <sup>2</sup> )	(s <sup>2</sup> )
0.589		0.587					
0.593	1.178	0.587	1.174	1.176	2E-03	1.383	5E-03
0.585		0.587					

Tabela 3.2. Medidas de T e determinações de  $T^2$  e incerteza imprecisa

$I_{\text{cilindro}} (\text{kg m}^2)$	Valor	Incerteza
Teórico	1.026E-03	---
Experimental	8.020E-04	7.513E-06

Erro relativo percentual	21.8%
--------------------------	-------

Tabela 3.3 - Determinar de  $I_{\text{cilindro}}$  e respectiva incerteza e erro relativo

Fórmulas de grandeza

$$\bullet \quad I = \frac{\overline{I}_D + \overline{I}_T}{2}$$

$$\bullet \quad I = \frac{D}{4\pi^2} T^2 = \text{declin.}_1 T^2 \quad (\text{declin. } 1 \rightarrow \text{ajuste linear 1})$$

$$\bullet \quad I' = d_1^2 m_1 + d_2^2 m_2 + \frac{L^2 m}{12}$$

$$\bullet \quad \text{Diferença relativa } I \text{ e } I': \frac{|I' - I|}{I'}$$

$$\bullet \quad D = \text{declin.}_2 \cdot \frac{4\pi^2}{1}$$

$$\bullet \quad d = d_1' - d_2'$$

→ valor apresentado ~~meio~~ meio (2)

$$\bullet \quad I_{zz'} = \frac{D}{4\pi^2} T^2$$

$$\bullet \quad I_{00'} = d_1'^2 m_1 + d_2'^2 m_2 + \frac{L^2 m}{12}$$

$$\bullet \quad M_{\text{exp}} = \text{declin.}_2 \quad (\text{declin. } 2 \rightarrow \text{ajuste linear 2})$$

$$\bullet \quad M_{\text{teo}} = m_1 + m_2$$

$$\bullet \quad I_{\text{cilindro teo}} = \frac{1}{2} m_{\text{cilindro}} (r_{\text{int}}^2 + r_{\text{ext}}^2)$$

$$\bullet \quad I_{\text{cilindro exp}} = \frac{D}{4\pi^2} T^2$$

## Notas:

- Incerteza de  $T$  (incerteza da média):  ~~$\bar{T}$~~   $\frac{u(\bar{T})}{\sqrt{2}}$  desvio-padrão ( $\bar{T}_0, \bar{T}_1$ )
- Incerteza de  $T^2$  (propagação de incerteza):

$$u(T^2) = \sqrt{\left(\frac{\partial(T^2)}{\partial T} u(T)\right)^2} \\ = \sqrt{(2 \cdot T \cdot u(T))^2}$$

- Incerteza de  $I'$  (propagação de incerteza) (para  $d_1 = d_2$ ):

$$u(I') = \sqrt{\left(\frac{\partial I'}{\partial d_1} u(d_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial I'}{\partial d_2} u(d_2)\right)^2 + \left(\frac{\partial I'}{\partial m_1} u(m_1)\right)^2 + \\ + \left(\frac{\partial I'}{\partial m_2} u(m_2)\right)^2 + \left(\frac{\partial I'}{\partial m} u(m)\right)^2 + \left(\frac{\partial I'}{\partial L} u(L)\right)^2} \\ = \sqrt{(2 \cdot d_1 \cdot m_1 \cdot u(d_1))^2 + (2 \cdot d_2 \cdot m_2 \cdot u(d_2))^2 + (d_1 \cdot u(m_1))^2 + \\ + (d_2^2 \cdot u(m_2))^2 + (L^2/12 \cdot u(m))^2 + (m/6 \cdot L \cdot u(L))^2}$$

$I_{221}$  é cilindro esp.

- Incerteza de  $I$ , ~~propagação de incerteza~~ (~~propagação de incerteza~~)

$$u(I) = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial(T^2)} u(T^2)\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial(\text{declim})} u(\text{declim})\right)^2} \\ = \sqrt{(\text{declim}; u(T^2))^2 + (T^2 \cdot u(\text{declim}))^2}$$

~~o resultado é que é linear, tal que declim~~

- Incerteza de  $I_{00'}$  (propagação de incerteza) (para  $d'_1 \neq d'_2$  e  $T^2 = 17.410 \text{ s}^2$ ):

$$u(I_{00'}) = \sqrt{\left(\frac{\partial I_{00'}}{\partial d'_1} u(d'_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial I_{00'}}{\partial d'_2} u(d'_2)\right)^2 + \left(\frac{\partial I_{00'}}{\partial m_1} u(m_1)\right)^2 + \\ + \left(\frac{\partial I_{00'}}{\partial m_2} u(m_2)\right)^2 + \left(\frac{\partial I_{00'}}{\partial m} u(m)\right)^2 + \left(\frac{\partial I_{00'}}{\partial L} u(L)\right)^2} \\ = \sqrt{(2 \cdot d'_1 \cdot m_1 \cdot u(d'_1))^2 + (2 \cdot d'_2 \cdot m_2 \cdot u(d'_2))^2 + (d'_1)^2 \cdot u(m_1))^2 + \\ + (d'_2)^2 \cdot u(m_2))^2 + (L^2/12 \cdot u(m))^2 + (m/6 \cdot L \cdot u(L))^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(2 \cdot 0.3357 \cdot 0.21239 \cdot 10^{-4})^2 + (2 \cdot 0.2337 \cdot 0.21079 \cdot 10^{-4})^2 +} \\
 &\quad + ((0.3357)^2 \cdot 10^{-5})^2 + ((0.2337)^2 \cdot 10^{-5})^2 + \left( \frac{(0.6100)^2 \cdot 10^{-5}}{12} \right)^2 + \\
 &\quad + \left( \frac{0.13224 \cdot 0.6100 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{6} \right)^2
 \end{aligned}$$

$$\approx \sqrt{3.47264 \times 10^{-10}}$$

$\approx 1.864 \times 10^{-5}$   $\text{kg cm}^{-2}$ , como referido na Tabela 2.3

- Incerteza de  $I_{22'} - I_{00'}$  (propagação da incerteza)

$$\begin{aligned}
 u(I_{22'} - I_{00'}) &= \sqrt{\left( \frac{\partial(I_{22'} - I_{00'})}{\partial I_{22'}} u(I_{22'}) \right)^2 + \left( \frac{\partial(I_{22'} - I_{00'})}{\partial I_{00'}} u(I_{00'}) \right)^2} \\
 &= \sqrt{u(I_{22'})^2 + u(I_{00'})^2}
 \end{aligned}$$

- Incerteza de  $d$  conforme à incerteza de medições de  $d_1$  e  $d_2$

- Incerteza de  $d^2$  (propagação da incerteza)

$$u(d^2) = \sqrt{\left( \frac{\partial(d^2)}{\partial d} u(d) \right)^2} = \sqrt{(2 \cdot d \cdot u(d))^2}$$

- Incerteza de  $D$  (máger da incerteza)

$$u(D) = \sqrt{\left( \frac{\partial D}{\partial \text{declin.}_1} u(\text{declin.}_1) \right)^2 + \left( \frac{\partial D}{\partial \text{declin.}_2} u(\text{declin.}_2) \right)^2} = \sqrt{(4\pi)^2 \cdot u(\text{declin.}_1)^2}$$

- Incerteza de  $M_{\text{exp}}$  conforme a  $u(\text{declin.}_2)$

~~• Incerteza de  $M_{\text{exp}}$  (propagação da incerteza)~~

— Gráfico 1.1: Barras de erro matriciais nas rotas mínimas à escala apresentada

— Gráfico 2.1: Barras de erro nas rotas relevantes para tratar - m de um ajuste linear

de apenas 3 valores; mas mesmos ② do órtolim experimental,

o valor da declin. ~~é~~ e sua respetiva incerteza (Tabela 2.4)

nos os dados mais relevantes para a determinação da valor experimental  
de  $M$

## Discussão

- Momento de um sistema de partículas com  $d_1 = d_2$  (massas  $m_1$  e  $m_2$  colineares a igual distância do eixo de rotação) ①

→ Relativamente ao gráfico 1.2., observa-se que a diferença relativa entre  $I$  e  $I'$ , fazendo a média da mesma de 1, tem como máximo um valor de apenas  $2.841 \times 10^{-2}$ , além disso os valores ~~foram~~ ~~foram~~ ~~foram~~ ~~foram~~ ~~foram~~ difiram altamente. Tal demonstra que ~~as~~ <sup>as</sup> medições de  $T$ , de qual depende  $I$ , nos fornecem erros sistemáticos ~~significativos~~ mas não apesar ~~de~~ ~~de~~ aleatórios (e mesmo os erros aleatórios nos foram significativos devido a reduzida razão de diferença relativa). Os fornecem erros aleatórios suavam:

— Nos posicionarem a massa sempre na mesma posição inicial

~~mas na medida da distância ao eixo de rotação~~

~~Média~~ ~~medida~~

— Média imediata do distanciamos das massas ao eixo de rotação

- Momento de um sistema de partículas ~~com eixo de rotação~~  $d_1 \neq d_2$  (eixo de rotação não coincidente com eixo de simetria) e Teorema de Steiner ②

→ De acordo com a Tabela 2.5., o erro relativo à percentagem de determinações

~~de~~ ~~M~~ (tenciamos a massa total do sistema) é extremamente

elevado (62.1%). Tal nível que ~~é~~ ~~é~~ impossível considerar

~~de~~  $m_1$  e  $m_2$  como massas pontuais e desconsiderar o momento de inércia de

reduzir, ou seja, não é válido considerar que  $M = m_1 + m_2$ . Assim,

experimentalmente, o momento de inércia de reduzida tem uma influência

significativa no movimento do sistema, tal que o Teorema de Steiner ~~é~~

~~é~~  $(I_{zz'} = I_{00} + Md^2)$  não é válido

⊗ ~~modo~~ os  
massas  
pontuais

- Momentos de inércia de cilindros ao  $\textcircled{3}$

→ De acordo com a Tabela 3.3., o erro de determinação do momento de inércia do cilindro é elevado (21.8%). ~~Por exemplo que, experimentalmente,~~  
~~é possível obtermos o momento de inércia da roda com considerações~~  
~~sobre a massa da roda e seu diâmetro.~~ Como neste sistema já não existe roda (ver figura 2), tal erro não pode ser explicado pelo momento de inércia da roda. Logo, mesmo não ~~obtendo os dados~~ tendo como fonte de informação um gráfico de resíduos (não se aplica um ajuste linear nesse caso que se trata de um simples medição com apenas a variável  $T$ ), o erro relativo formalmente não explicado por erros aleatórios momentaneamente não posicionam o cilindro sobre a mesma posição inicial durante as 6 medições.

Cornelius

- Determinaremos o momento de inércia de duas massas posicionadas numa rota horizontal como de um cilindro só.
  - Verificámos que o teorema de Steiner não é válido num experimento.
  - Concluímos que o momento de inércia aumenta com o aumento da distância das massas ao eixo de rotação, ~~que é~~ e que é fortemente influenciado pelo momento de inércia de outros componentes do sistema (imediatamente a rotação), pelo que não podemos considerar as massas fôtuais (como de acordo com o teorema de Steiner).

Anexo

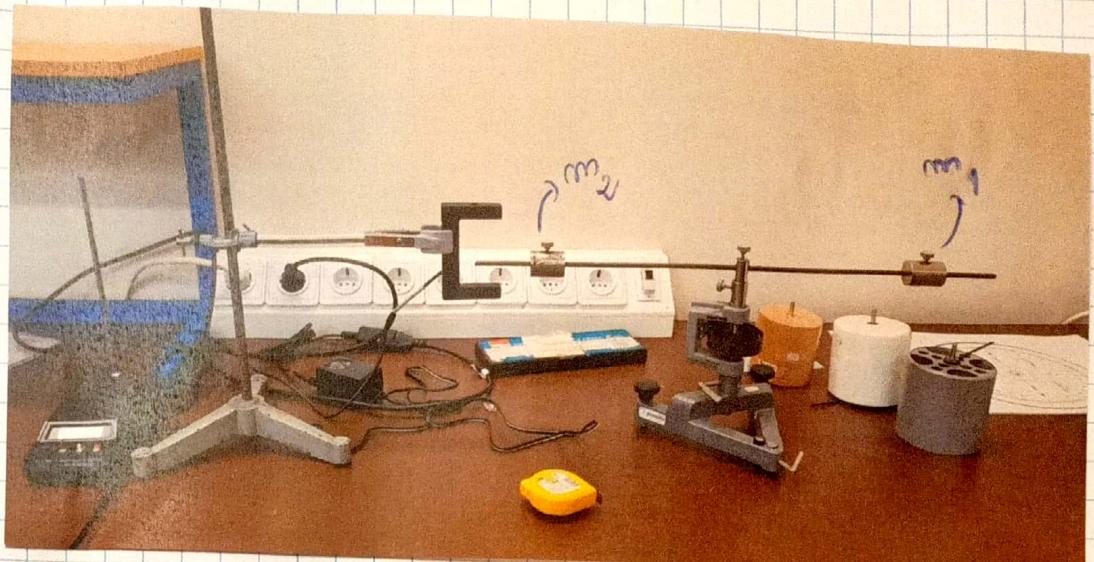


Figura 1 : Montagem experimental para c. determinar o momento de um sistema de pesos ~~a igual~~ a igual da massa do eixo de rotação (nº 1)



Figura 2 : Montagem experimental para c. determinar o momento de um disco (nº 3)