Física Experimental
Revisão - 2022/01

Universidade Federal do Espírito Santo
Centro de Ciências Exatas - CCE
Departamento de Física - DFIS

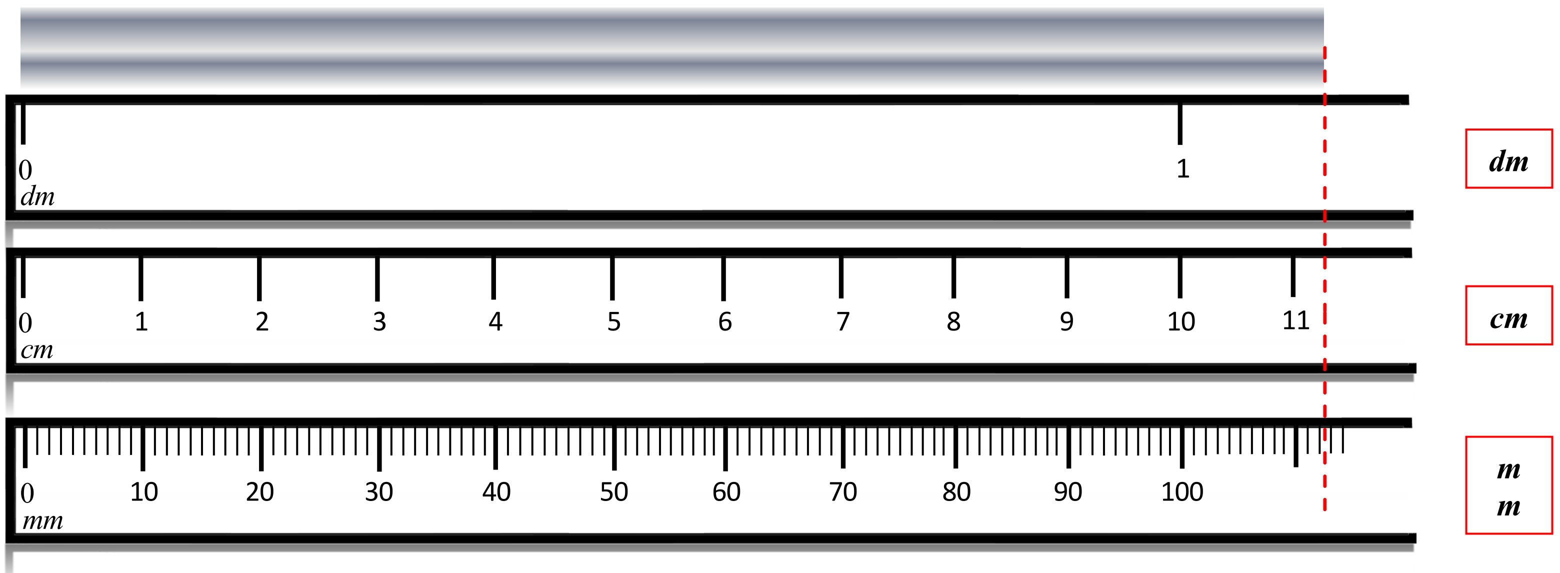
Roteiro

- O que são algarismos significativos?
- Definição de incerteza e como calcular incerteza absoluta em grandezas físicas
- Propagação de incerteza em grandezas físicas diretas e indiretas
- Análise dos resultados de alguns experimentos
- Dúvidas e perguntas!

Algarismos Significativos

Grandeza física direta: Medida e Precisão

Exemplo ilustrativo



Suposição... “chute”: depende do olho do medidor.

Instrumento de Medida	*Comprimento da barra*	*Quantidade de algarismos significativos obtidos*
régua decimetrada	***1,1 dm***	***2***
régua centimetrada	***11,3 cm***	***3***
régua milimetrada	***112,4 mm***	***4***

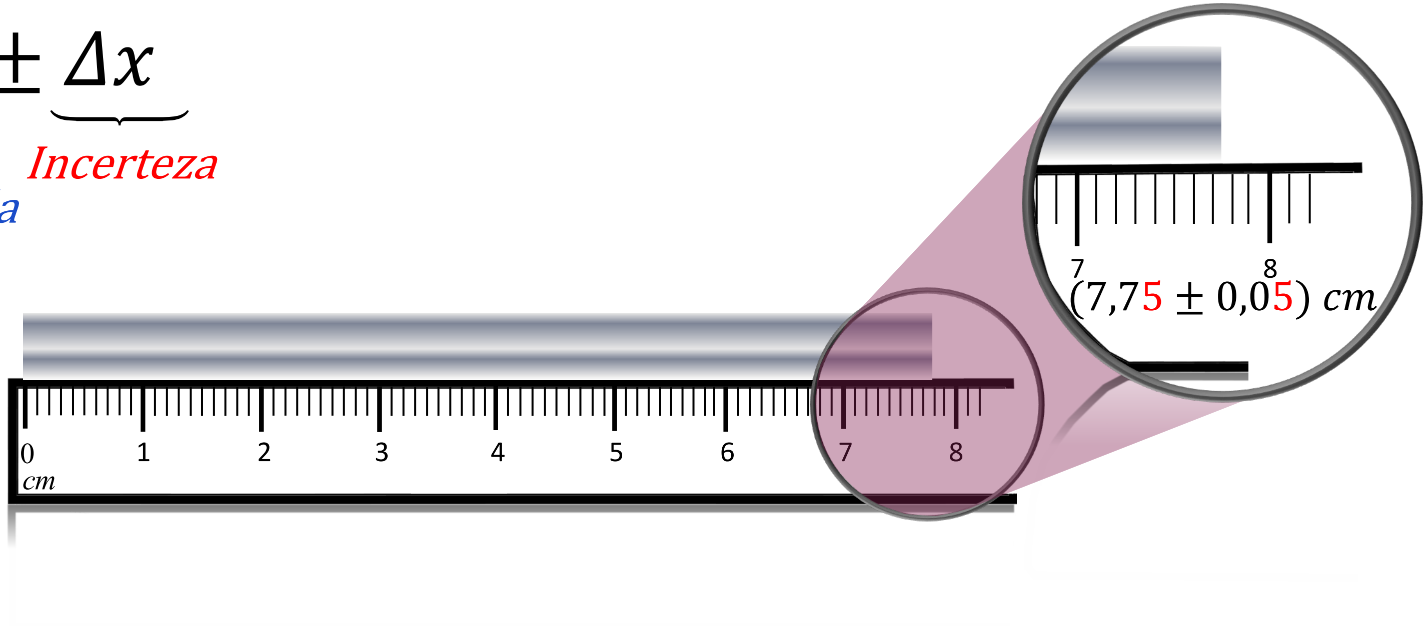
Teoria de Erros e Medidas

Medida INERENTE ***Erro***

Poderá ser minimizado eliminando-se o máximo fontes de erro.

Avaliar quantitativamente as *incertezas* nas medições.

$$\underbrace{x}_{\text{Valor medida}} \pm \underbrace{\Delta x}_{\text{Incerteza}}$$



Teoria de Erros e Medidas

Incertezas em Medidas Diretas

Medindo-se uma única vez

$$x \pm \Delta x$$

Medindo-se ***N*** vezes a mesma grandeza

$$x = x_m \pm \Delta x$$

$$x_m = \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{N}$$

Incerteza absoluta ⇨ $$\Delta x = \sum_{i=1}^{N} \frac{|x_m - x_i|}{N}$$

Distância entre os sensores H (cm)	***t₁*** (s)	***t₂*** (s)	***t₃*** (s)	***t₄*** (s)	***t₅*** (s)
S0-S1 15,00 ± 0,30	2,527	2,488	2,660	2,488	2,494

$$t = t_m \pm \Delta t = (2{,}53 \pm 0{,}05)s$$

Teoria de Erros e Medidas

Incertezas em Medidas Indiretas $\left\{ \begin{array}{l} \text{Geralmente é necessário usar valores medidos e afetados por incertezas para realizar cálculos a fim de se obter o valor de outras grandezas indiretas.} \\ V = f(x \pm \Delta x, y \pm \Delta y, \dots) \end{array} \right.$

Soma ou *Subtração*

$$\left.\begin{array}{l} A = a \pm \Delta a \\ B = b \pm \Delta b \\ C = c \pm \Delta c \\ \quad\vdots \end{array}\right\} \Rightarrow \left(\begin{array}{rcl} a,\ b,\ c, \cdots & = & valores\ medidos \\ \pm\Delta a,\ \pm\Delta b,\ \pm\Delta c, \cdots & = & incertezas\ absolutas \end{array} \right)$$

$$S = A + B + C + \cdots \quad = s \pm \Delta s \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} s = \ valor\ calculado\ da\ soma \\ \pm\Delta s = incerteza\ absoluta\ da\ soma \end{array} \right\}$$

$$S' = A - B - C - \cdots \quad = s' \pm \Delta s \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} s' = \ valor\ calculado\ da\ substração \\ \pm\Delta s = incerteza\ absoluta\ da\ soma \end{array} \right\}$$

Teoria de Erros e Medidas

Soma ou *Subtração* Incertezas em Medidas Indiretas

Exemplo: Com uma régua milimetrada, mediram-se, pelo menos, três vezes os comprimentos de cada um dos dois tubos. Após, a determinação dos valores médios e respectivas incerteza para cada tamanho, os valores são:

$$L_1 = (1{,}000 \pm 0{,}0003)\, m \qquad L_2 = (0{,}0123 \pm 0{,}00052)\, m$$

- As representações de L_1e L_2 estão corretas? Justifique!

- Se os dois comprimentos (L_1e L_2) fossem somados, qual o valor da nova grandeza?

$$L = L_1 + L_2 \;\; = [(1{,}0000 + 0{,}0123) \pm (0{,}0003 + 0{,}0005)]m \Longrightarrow L = (1{,}0123 \pm 0{,}0008)m$$

- Se os dois comprimentos (L_1e L_2) fossem subtraídos, qual o valor da nova grandeza?

$$L' = L_1 - L_2 = [(1{,}0000 - 0{,}0123) \pm (0{,}0003 + 0{,}0005)]m \Longrightarrow L' = (0{,}9877 \pm 0{,}0008)m$$

Teoria de Erros e Medidas

Multiplicação, divisão, radiciação e potenciação

$$F = K.A.B^{\alpha}.C^{\beta}$$

$$F = \underbrace{\bar{f}}_{\bar{k}.\bar{a}.\bar{b}^{\alpha}.\bar{c}^{\beta}} \pm \Delta f$$

Critério mais desfavorável

$$\pm\Delta f = \pm\bar{f}\left[\left|\frac{\Delta k}{\bar{k}}\right| + \left|\frac{\Delta a}{\bar{a}}\right| + \left|\alpha\frac{\Delta b}{\bar{b}}\right| + \left|\beta\frac{\Delta c}{\bar{c}}\right|\right]$$

Teoria de Erros e Medidas

Multiplicação, *divisão*, *radiciação* e *potenciação*

$$F = K.A.B^{\alpha}.C^{\beta}$$

Exemplo: Calcule o volume de uma esfera cujo o raio vale: $R = r \pm \Delta r = (232{,}0 \pm 0{,}1)\,mm$. Neste caso podemos calcular seu volume utilizando uma calculadora com dez dígitos, sem nos preocuparmos com à incerteza que afeta o número π.

$$V = v \pm \Delta v = (5{,}231 \pm 0{,}007)x10^{7}mm^{3}$$

No caso em que os dados forem usados como argumento de funções ($\sin x$, $\cos x$, $\log x$, $\ln x$, etc.):

$$F = f \pm \Delta f = \frac{f_{sup} + f_{inf}}{2} \pm \frac{f_{sup} - f_{inf}}{2}$$

Exemplo: $\cos(30{,}0 \pm 0{,}2)°$

Experimento A7 – Momento de Inércia

Tabela 1 – Dados iniciais das massas , raios espessuras e densidades

Descrição do conjunto			
Massa Acoplada + suporte - m (g)	56,92	±	0,01
Raio Tambor - r (cm)	1,86	±	0,03
Raio do Disco - R (cm)	7,47	±	0,03
Espessura do Disco - ε (cm)	1,210	±	0,050
Densidade do Disco - ρ (g/cm3)	7,850	±	0,010

Tabela 2 - Medidas do tempo de queda t_H para diferentes alturas **H**

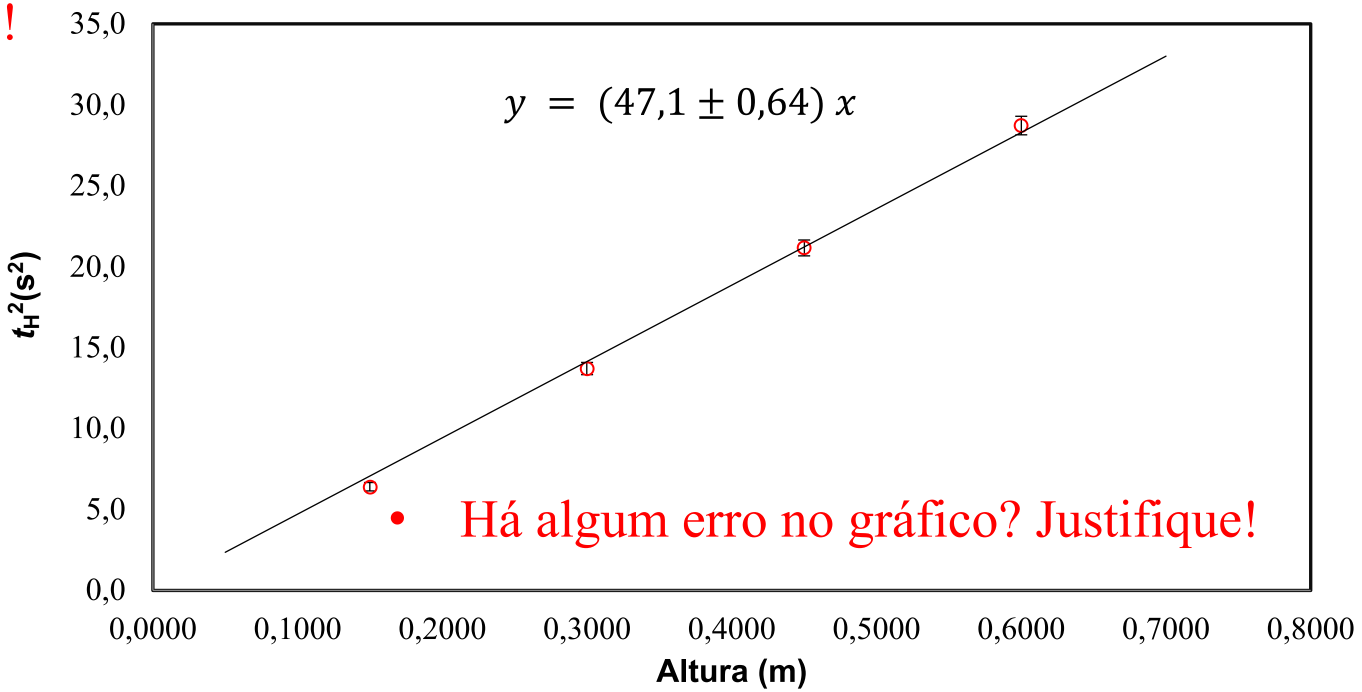
Distância entre os sensores H (cm)				t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)
S0-S1	15,00	±	0,30	2,527	2,488	2,660	2,488	2,494
S0-S2	30,00	±	0,30	3,691	3,664	3,830	3,676	3,651
S0-S3	45,00	±	0,30	4,599	4,564	4,733	4,558	4,545
S0-S4	60,00	±	0,30	5,351	5,319	5,492	5,326	5,307

- Há algum erro nos dados das tabelas? Justifique!

$$t_H^2 = (t^2 \pm \Delta t^2) = t^2 \pm t^2 \left|\frac{2\Delta t}{t}\right|$$

Tabela 3 – Medidas do tempo de queda t_H para diferentes H e t_H^2

H (m)			*t* (s)			t^2 (s^2)		
0,150	±	0,003	2,53	±	0,05	6,4	±	0,3
0,300	±	0,003	3,70	±	0,05	13,7	±	0,4
0,450	±	0,003	4,60	±	0,05	21,2	±	0,5
0,600	±	0,003	5,36	±	0,05	28,7	±	0,6



- Há algum erro no gráfico? Justifique!

Figura 1 - Gráfico t_H^2 X H para determinação do Momento de Inércia do Disco

Experimento A7 – Momento de Inércia

$$t^2 = \frac{2I_R + 2mr^2}{mgr^2}H$$

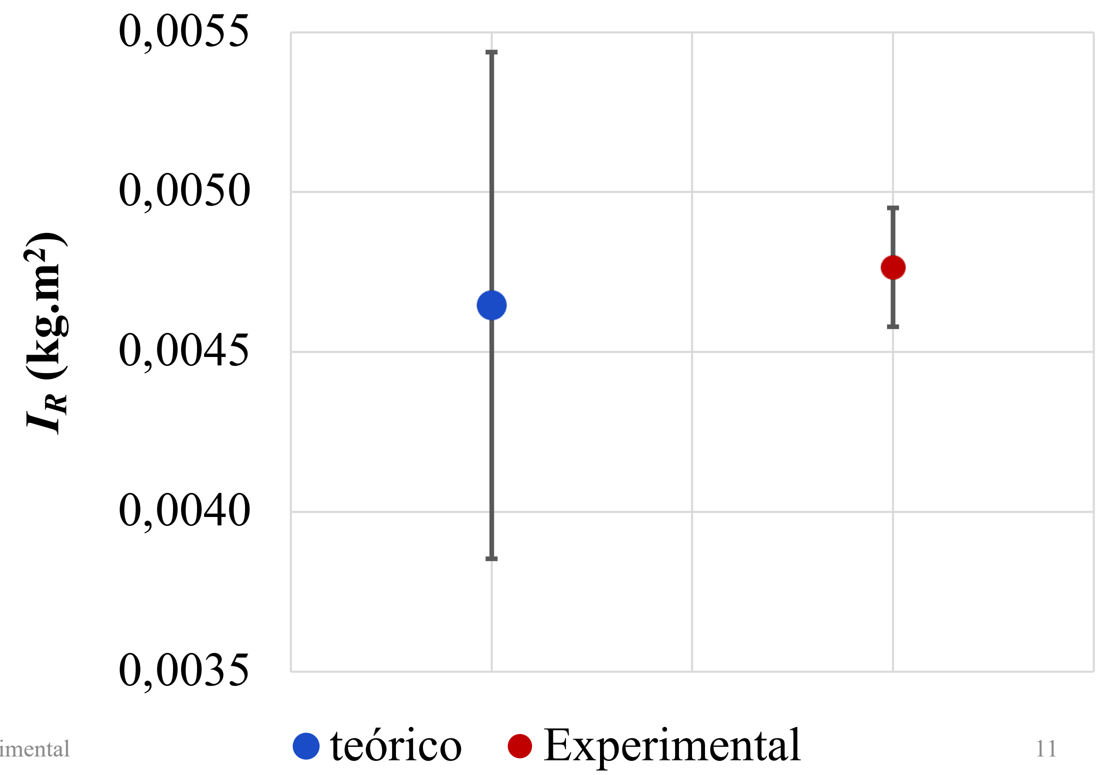
$$y = \alpha x = (47{,}1 \pm 0{,}6)x$$

$$f = I_R = \frac{mr^2(\alpha g - 2)}{2}$$

$$\pm \Delta f = \pm \frac{mr^2(\alpha g - 2)}{2}\left[\left|\frac{\Delta m}{m}\right| + \left|2\frac{\Delta r}{r}\right| + \left|\frac{\Delta \alpha}{\alpha}\right| + \left|\frac{\Delta g}{g}\right|\right]$$

$$I_{R-teo} = \frac{1}{2}MR^2$$

I_R (kg.m^2) =	0,0046	±	0,0008
I_R (kg.m^2) =	0,0048	±	0,0002



Experimento A3 – Segunda Lei De Newton

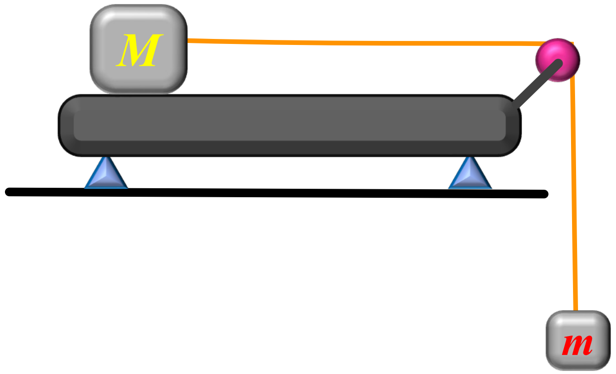


Figura 1 – Esquema de montagem do experimento

Tabela 1 – dados iniciais das massas e distância entre sensores de medidas de tempo

m^{1} (g)	16,94	±	0,01
M^{2a} (g)	248,26	±	0,01
M^{2b} (g)	345,34	±	0,01
Separação entre sensores (cm)	15,0	±	0,3

Tabela 2 - medidas dos tempos de passagens entre sensores para a massa M_{2a}

N	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)
1	0,72075	1,04825	1,29815	1,50810
2	0,79370	1,12330	1,37320	1,58265
3	0,74510	1,07075	1,31900	1,52720
4	0,74345	1,06950	1,31740	1,52535
5	0,77745	1,10760	1,35760	1,56710
6	0,73410	1,06070	1,30920	1,51740
7	0,76435	1,09350	1,34375	1,55325
8	0,78460	1,11470	1,36495	1,57420
9	0,74885	1,07520	1,32415	1,53260
10	0,81035	1,13915	1,38845	1,59680

Tabela 3 - medidas dos tempos de passagens entre sensores para a massa M_{2b}

N	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)
1	0,90210	1,29235	1,58820	1,83525
2	0,89245	1,27990	1,57420	1,82025
3	0,87360	1,25925	1,55275	1,79835
4	0,87820	1,26180	1,55415	1,79945
5	0,88190	1,26445	1,55625	1,80130
6	0,87760	1,26135	1,55355	1,79865
7	0,86605	1,24990	1,54195	1,78715
8	0,88735	1,27145	1,56325	1,80825
9	0,88510	1,26935	1,56120	1,80615
10	0,88555	1,27065	1,56290	1,80790

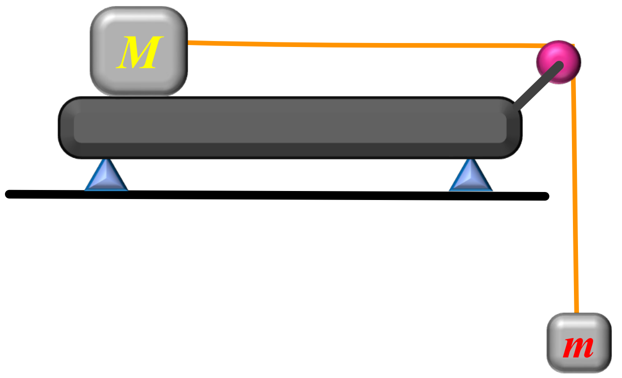
Tabela 4 – medidas da distância entre sensores, do tempo de passagem médio e do tempo de passagem médio ao quadrado para M_{2a}

S (m)	$\bar{t}$ (s)	$\bar{t}^2$ (s^2)
0,150 ± 0,003	0,76 ± 0,02	0,58 ± 0,04
0,300 ± 0,003	1,09 ± 0,03	1,19 ± 0,06
0,450 ± 0,003	1,34 ± 0,03	1,79 ± 0,07
0,600 ± 0,003	1,55 ± 0,03	2,40 ± 0,08

Tabela 5 – medidas da distância entre sensores, do tempo de passagem médio e do tempo de passagem médio ao quadrado para M_{2b}

S (m)	$\bar{t}$ (s)	$\bar{t}^2$ (s^2)
0,150 ± 0,003	0,883 ± 0,008	0,78 ± 0,01
0,300 ± 0,003	1,268 ± 0,009	1,61 ± 0,02
0,450 ± 0,003	1,561 ± 0,009	2,44 ± 0,03
0,600 ± 0,003	1,806 ± 0,009	3,26 ± 0,03

Experimento A3 – Segunda Lei De Newton



$$a_1\,(m.s^{-2}) = 0{,}4954 \pm 0{,}0006$$

$$a_2\,(m.s^{-2}) = 0{,}3624 \pm 0{,}0001$$

$$a_1/a_2 = 1{,}367 \pm 0{,}002$$

$$(m_1+M_{2b})/(m_1+M_{2a}) = 1{,}37 \pm 0{,}03$$

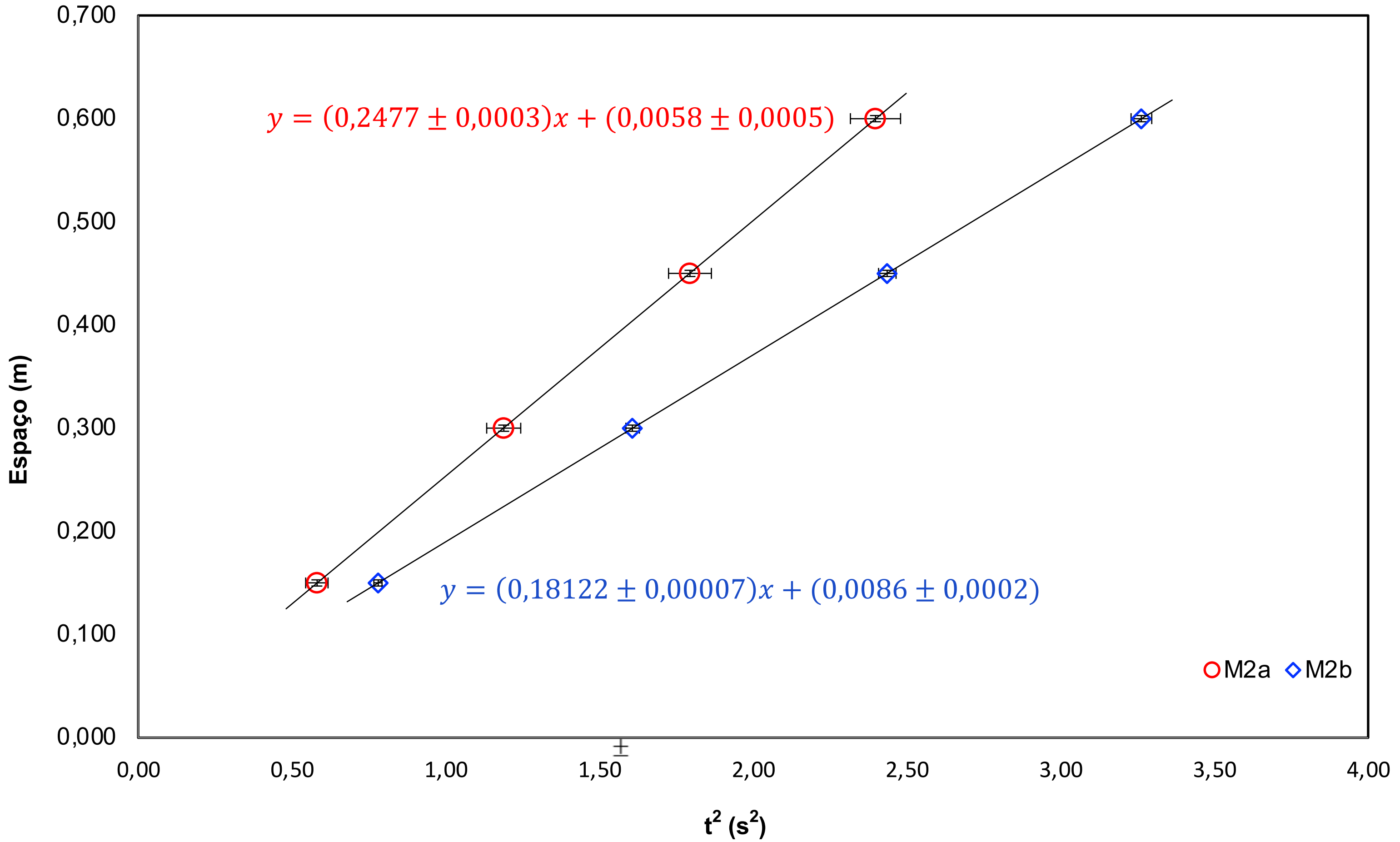


Figura 2 - Gráfico Espaço versus t^2 - determinação das acelerações a_1 e a_2

Obrigado!