

## Síntese sobre o experimento (3) de rolamento

Gustavo Kenzo Sato da Costa nº USP: 11223736

Rafael Gonçalves Martins nº USP: 11223865

5,6

### Formulário

para as fórmulas funcionarem no experimento, devem ser respeitadas as seguintes condições:

- 1) Deve ser considerada a existência do atrito para que os cilindros realizem o movimento de rolamento. ~~Mas ele deve ser descartado nas contas.~~
- 2) Os cilindros devem possuir uma distribuição simétrica de massa em torno de seu eixo de rotação.
- 3) Os cilindros rolam sem deslizar.

sem atrito o cilindro não rola...

$$d^2x/dt^2 = (g \cdot \sin \alpha) / [3/2 + 1/2 \cdot (r/R)^2] = g \cdot \sin \alpha / K$$

x?

Equação da aceleração do cilindro, onde "g" é a aceleração da gravidade, "α" é o ângulo entre a prancha de madeira e a mesa. "R" e "r" são raios do cilindro externo e interno, respectivamente. E "K" é um parâmetro dependente apenas da distribuição de massa do cilindro.

A equação da posição ao incluir a aceleração anterior é dada por:

$$x = x_i + v_i \cdot t + (g \cdot \sin \alpha / 2 \cdot K) \cdot t^2$$

Ao adotar parâmetros iniciais em que  $x_i = 0$  e  $v_i = 0$ , temos que:

$$t = \sqrt{[(2 \cdot K \cdot x) / (g \cdot \sin \alpha)]}$$

Pela equação (5):

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{g \operatorname{sen} \alpha}{\frac{3}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R}\right)^2} = \frac{g \operatorname{sen} \alpha}{K}$$

$$\therefore K = \frac{3}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R}\right)^2 //$$

Em um cilindro maciço,  $r = 0$ :

$$K = \frac{3}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{0}{R}\right)^2 \quad \therefore K = \frac{3}{2} //$$

Em uma casca cilíndrica,  $r \rightarrow R$ , de-se a forma:

$$K = \frac{3}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{R}{R}\right)^2 \quad \therefore K = 2 //$$

$$K = \frac{3}{2} + \frac{1}{2} 1^2$$

Com esses cálculos pode-se concluir que a aceleração, a velocidade do movimento de escorregamento do cilindro não depende de sua massa ou tamanho, e sim da distribuição de seu volume.

## Descrição experimental

A análise do experimento foi separada em dois casos distintos:

- A. Foi realizado um processo de cronometrar 10 vezes o tempo de rolamento da marca de 0,0 m até 1,0 m e 10 vezes da marca de 1,0 m até 0,0 m para cada um dos 3 cilindros. Nesse caso a distância de rolamento manteve-se constante. o que variou ?
- B. Utilizando os cilindros de latão foram tomadas 80 medidas, 40 para o cilindro de latão oco e 40 para o cilindro de latão maciço. Todas as medidas tomaram como ponto inicial a marcação de 0,0 m na prancha e variando o ponto final 4 vezes, 0,4 m, 0,6 m, 0,8 m e 1,0 m, de modo proporcional, ou seja: 10 vezes para cada situação.

## Arranjo experimental

Para realizar o experimento foram utilizados:

- Uma prancha de madeira de 1,2 m e incerteza de 0,01 m, com marcações de 0,0 m, 0,2 m, 0,4 m, 0,6 m, 0,8 m e 1,0 m, utilizada como base de rolamento dos cilindros.
- Uma fita adesiva colocada na marca de 1 metro para servir de referência na coleta dos dados
- Calço de madeira de 0,03854 m utilizado para elevar um lado da prancha de forma a ela ficasse inclinada e cuja a incerteza é ,00005 m
- Um paquímetro para medir o tamanho do calço e o diâmetro dos cilindros com incerteza de 0,00005 m.
- Uma balança de laboratório com a função de medir o peso dos cilindros, cuja incerteza é 0,00001 kg
- Três cilindros de volumes iguais, mas massa e materiais diferentes usados como objeto de análise do experimento:
  1. Cilindro maciço de alumínio, com diâmetro de  $(0,05000 \pm 0,00005)$  m e massa de  $(0,2657 \pm 0,0001)$  kg
  2. Cilindro oco de latão, com diâmetro de  $(0,05000 \pm 0,00005)$  m e massa de  $(0,2651 \pm 0,0001)$  kg
  3. Cilindro maciço de latão, com diâmetro de  $(0,05000 \pm 0,00005)$  m e massa de  $(0,8298 \pm 0,0001)$  k
- Um cronômetro digital de incerteza de 0,01 s utilizado para medir o tempo de rolamento dos cilindros na prancha inclinada

Uma câmera para filmar o movimento dos cilindros

## Dedução da fórmula de tempo médio

Adotando  $\beta$  como a variação do ângulo  $\alpha$  por meio de irregularidades na mesa, pode-se usar a fórmula (7) para encontrar o tempo de queda. É por meio da equação (6):

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{a t^2}{2} \quad (A)$$

Onde  $x_0 = 0$  e  $v_0 = 0$ :

$$x = \frac{g t^2 \operatorname{sen} \alpha}{2k} \quad (B)$$

Considerando as constantes ( $g, k, x$ ) simplificamos:

$$c = \frac{2kx}{g} \quad (C)$$

É adotando  $t_1$  como o tempo de rolamento com o plano inclinado para a direita e  $t_2$  como o tempo de rolamento com o plano inclinado para a esquerda temos:

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{c}{t^2} \quad (D)$$

$$\operatorname{sen}(\alpha + \beta) = \frac{c}{t_1^2} \quad (D.1)$$

$$\operatorname{sen}(\alpha - \beta) = \frac{c}{t_2^2} \quad (D.2)$$

Utilizando as relações trigonométricas:

$$\operatorname{sen}(\alpha + \beta) = \operatorname{sen}\alpha \cdot \cos\beta + \operatorname{sen}\beta \cdot \cos\alpha \quad (\text{E.1})$$

$$\operatorname{sen}(\alpha - \beta) = \operatorname{sen}\alpha \cdot \cos\beta - \operatorname{sen}\beta \cdot \cos\alpha \quad (\text{E.2})$$

As somas (D.1) e (D.2) temos:

$$2 \operatorname{sen}\alpha \cos\beta = \frac{c(t_1^2 + t_2^2)}{t_1^2 \cdot t_2^2} \quad (\text{F})$$

Considerando  $\beta \approx 0$  temos que  $\cos\beta = \cos 0 = 1$ ,  
desse forma:

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{c(t_1^2 + t_2^2)}{2 t_1^2 \cdot t_2^2} \quad (\text{G})$$

Substituindo (D) em (G) temos:

$$\frac{c}{t^2} = \frac{c(t_1^2 + t_2^2)}{2 t_1^2 \cdot t_2^2}$$

$$t^2 = \frac{2 t_1^2 \cdot t_2^2}{t_1^2 + t_2^2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 t_1^2 \cdot t_2^2}{t_1^2 + t_2^2}}$$

## Resultados obtidos

| Esqu<br>erdo |              | t1(1) | t1(2) | t1(3) | t1(4) | t1(5) | t1(6) | t1(7) | t1(8) | t1(9) | t1(10) | t1<br>méd<br>o (s) | inc<br>t1 |
|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------------|-----------|
|              | Al maciço    | 3,22  | 3,22  | 3,19  | 3,27  | 3,22  | 3,2   | 3,13  | 3,07  | 3,32  | 3,26   | 3,21               | 0,02      |
|              | Latão oco    | 3,35  | 3,27  | 3,39  | 3,33  | 3,47  | 3,19  | 3,39  | 3,33  | 3,39  | 3,27   | 3,34               | 0,03      |
|              | Latão maciço | 2,94  | 3     | 3,01  | 2,97  | 3,07  | 3,12  | 3     | 3     | 3,14  | 3,2    | 3,05               | 0,03      |
| Direi<br>to  |              | t2(1) | t2(2) | t2(3) | t2(4) | t2(5) | t2(6) | t2(7) | t2(8) | t2(9) | t2(10) | t2<br>méd<br>o     | inc<br>t2 |
|              | Al maciço    | 3,14  | 3,33  | 3,27  | 3,13  | 3,15  | 3,33  | 3,14  | 3,2   | 3,14  | 3,33   | 3,22               | 0,03      |
|              | Latão oco    | 3,47  | 3,46  | 3,47  | 3,67  | 3,46  | 3,46  | 3,58  | 3,46  | 3,4   | 3,72   | 3,52               | 0,03      |
|              | Latão maciço | 2,88  | 3,14  | 3,2   | 3,13  | 3,19  | 3,14  | 3,2   | 3,19  | 3,19  | 3,2    | 3,15               | 0,03      |

tabela 1

Tabela deve sempre ter legenda

Essa tabela (1) contém os dados obtidos através da cronometragem do tempo de rolamento dos 3 cilindros com a prancha inclinada para a direita e para a esquerda. Também mostra o tempo médio dos movimentos, que foi calculados tirando a média dos tempos de rolamento dos cilindros. E por fim, na última coluna, apresenta a incerteza do tempo médio, que é o resultado do cálculo do desvio padrão do tempo médio.

| Tempo médio  |  | t    | inc t |
|--------------|--|------|-------|
| Al maciço    |  | 3,21 | 0,18  |
| Latão oco    |  | 3,42 | 0,20  |
| Latão maciço |  | 3,09 | 0,16  |

tabela 2

momento de inércia?

A tabela (2) indica apenas o tempo médio e sua incerteza. "t" foi calculado através da fórmula apresentada no item (5) do roteiro do experimento. A incerteza de t foi obtida pelas derivadas parciais dos tempos médios t1 e t2.

| latão<br>o<br>maciço | Distância + inc | t(1) | t(2) | t(3) | t(4) | t(5) | t(6) | t(7) | t(8) | t(9) | t(10) | t médio | inc t | t <sup>2</sup> | inc t <sup>2</sup> |
|----------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---------|-------|----------------|--------------------|
|                      | (m)             | (s)  |      |      |      |      |      |      |      |      | )     | (s)     | (s)   |                |                    |
|                      | 0,4 ± 0,005     | 1,78 | 1,84 | 1,98 | 1,91 | 1,77 | 1,98 | 1,85 | 1,85 | 1,78 | 1,98  | 1,87    | 0,03  | 3,50           | 0,10               |
|                      | 0,6 ± 0,005     | 2,43 | 2,30 | 2,43 | 2,35 | 2,37 | 2,43 | 2,42 | 2,42 | 2,37 | 2,62  | 2,41    | 0,03  | 5,83           | 0,13               |
|                      | 0,8 ± 0,005     | 2,80 | 2,89 | 2,78 | 2,74 | 2,67 | 2,75 | 2,81 | 2,95 | 2,89 | 2,82  | 2,81    | 0,03  | 7,90           | 0,15               |
| 1,0 ± 0,005          | 3,07            | 3,21 | 2,96 | 3,06 | 3,08 | 3,14 | 3,02 | 3,13 | 3,07 | 3,20 | 3,09  | 0,02    | 9,57  | 0,15           |                    |

| latão<br>o<br>oco | Distância + inc | t(1) | t(2) | t(3) | t(4) | t(5) | t(6) | t(7) | t(8) | t(9) | t(10) | t médio | inc t | t <sup>2</sup> | inc t <sup>2</sup> |
|-------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---------|-------|----------------|--------------------|
|                   | (m)             | (s)  |      |      |      |      |      |      |      |      | )     | (s)     | (s)   |                |                    |
|                   | 0,4 ± 0,005     | 2,12 | 1,97 | 2,17 | 1,94 | 2,1  | 2    | 1,99 | 2,19 | 1,82 | 2,15  | 2,05    | 0,04  | 4,18           | 0,15               |
|                   | 0,6 ± 0,005     | 2,43 | 2,45 | 2,3  | 2,45 | 2,48 | 2,69 | 2,58 | 2,54 | 2,64 | 2,48  | 2,50    | 0,04  | 6,27           | 0,18               |
|                   | 0,8 ± 0,005     | 3,17 | 2,99 | 2,9  | 3,17 | 2,94 | 2,92 | 2,9  | 2,97 | 3,12 | 3,04  | 3,01    | 0,03  | 9,07           | 0,20               |
| 1,0 ± 0,005       | 3,49            | 3,44 | 3,07 | 3,42 | 3,3  | 3,19 | 3,31 | 3,25 | 3,45 | 3,27 | 3,32  | 0,04    | 11,0  | 0,28           |                    |

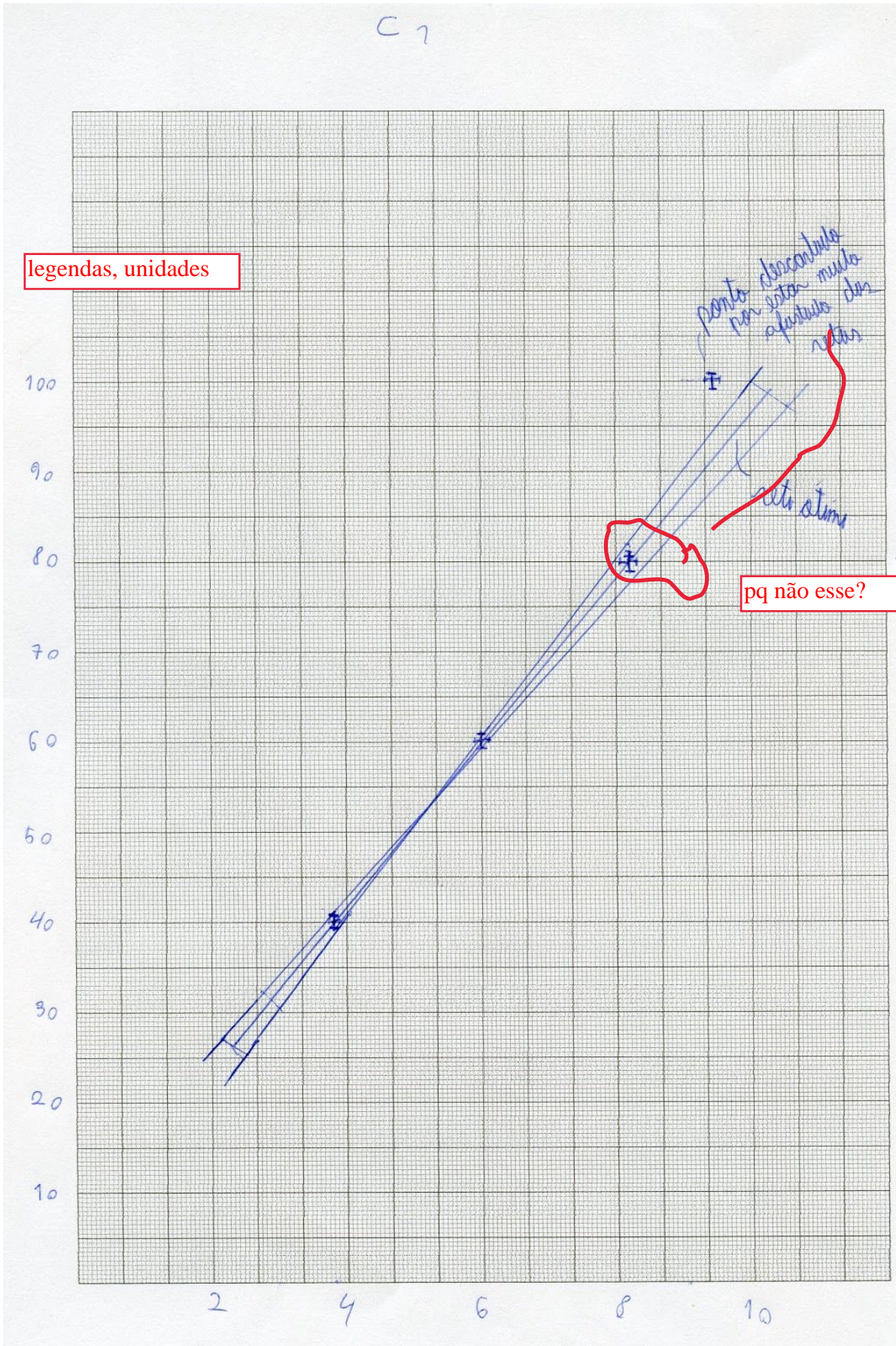
tabela 3

incerteza com 1 significativo

A tabela (3) mostra o tempo de rolamento dos dois cilindros de latão em diferente distâncias. As distâncias percorridas pelos cilindros são de: 0,4m, 0,6m, 0,8m e 1,0m. A tabela mostra o tempo médio do movimento para cada distância percorrida, calculado através da média dos tempos cronometrados. A incerteza do tempo médio é calculada pelo desvio padrão e apresentada na coluna seguinte à do tempo médio.

As duas últimas colunas apresentam o quadrado do tempo médio, obtido ao ser elevado ao quadrado. E sua incerteza foi propagada chegando à forma de:  $inc\ t^2 = (2 * t^2 * inc\ t) / t$ .

texto introduzindo os gráficos?

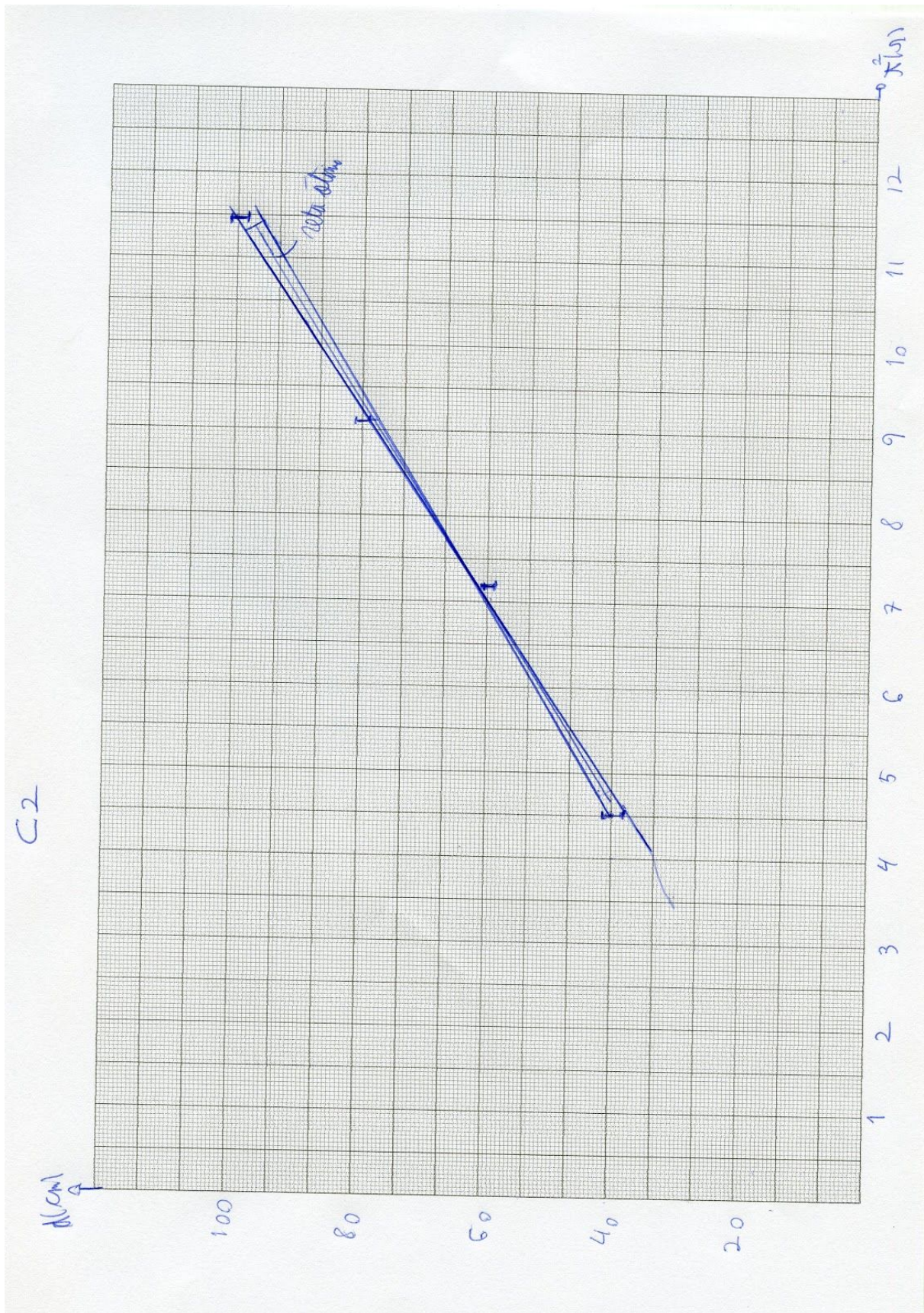


O gráfico acima se refere ao comportamento da distância x percorrida no plano em função

coeficientes?



de  $t^2$  do cilindro C1 (Maciço) de Latão



O gráfico acima se refere ao comportamento da distância  $x$  percorrida no plano em função de  $t^2$  do cilindro C2 (Oco) de Latão

Tabelas de MMQ para calcularmos os valores de xo e k:

| LATÃO OCO    |            |               |            |                   |                       |                  |                  |                  |            |            |
|--------------|------------|---------------|------------|-------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------|
| MMQ          |            |               |            |                   |                       |                  |                  |                  |            |            |
| X            | $\sigma_x$ | Y             | $\sigma_y$ |                   |                       |                  |                  |                  |            |            |
| $t^2$        | inc $t^2$  | Distância (m) | inc        | $XY/(\sigma_y^2)$ | $(X/\sigma_y)^2$      | $X/(\sigma_y^2)$ | $Y/(\sigma_y^2)$ | $1/(\sigma_y^2)$ | a          | b          |
| 4,516        | 0,10       | 0,400         | 0,005      | 72250             | 81563<br>5            | 18062<br>5       | 16000            | 40000            | 0,088      | -0,006     |
| 7,182        | 0,10       | 0,600         | 0,005      | 17237<br>8        | 20634<br>75           | 28729<br>6       | 24000            | 40000            |            |            |
| 9,120        | 0,14       | 0,800         | 0,005      | 29185<br>3        | 33272<br>68           | 36481<br>6       | 32000            | 40000            | $\sigma_a$ | $\sigma_b$ |
| 11,458       | 0,10       | 1,000         | 0,005      | 45832<br>9        | 52516<br>37           | 45832<br>9       | 40000            | 40000            | 0,001      | 0,008      |
|              |            |               |            | <b>Sxy</b>        | <b>Sx<sup>2</sup></b> | <b>Sx</b>        | <b>Sy</b>        | <b>S1</b>        |            |            |
|              |            |               |            | 99480<br>9        | 11458<br>014          | 12910<br>66      | 11200<br>0       | 16000<br>0       |            |            |
| 1ª Interação |            |               |            |                   |                       |                  |                  |                  |            |            |
| X            | $\sigma_x$ | Y             | $\sigma$   |                   |                       |                  |                  |                  |            |            |
| $t^2$        |            | Distância (m) | inc        | $XY/(\sigma_y^2)$ | $(X/\sigma_y)^2$      | $X/(\sigma_y^2)$ | $Y/(\sigma_y^2)$ | $1/(\sigma_y^2)$ | a          | b          |
| 4,516        |            | 0,400         | 0,01       | 72250<br>,0       | 81563<br>4,8          | 18062<br>5,0     | 16000<br>,0      | 40000<br>,0      | 0,088      | -0,006     |
| 7,182        |            | 0,600         | 0,01       | 17237<br>7,6      | 20634<br>74,8         | 28729<br>6,0     | 24000<br>,0      | 40000<br>,0      |            |            |
| 9,120        |            | 0,800         | 0,01       | 29185<br>2,8      | 33272<br>67,8         | 36481<br>6,0     | 32000<br>,0      | 40000<br>,0      | $\sigma_a$ | $\sigma_b$ |
| 11,458       |            | 1,000         | 0,01       | 45832<br>9,0      | 52516<br>36,8         | 45832<br>9,0     | 40000<br>,0      | 40000<br>,0      | 0,001      | 0,008      |
|              |            |               |            | <b>Sxy</b>        | <b>Sx<sup>2</sup></b> | <b>Sx</b>        | <b>Sy</b>        | <b>S1</b>        |            |            |
|              |            |               |            | 99480<br>9        | 11458<br>014          | 12910<br>66      | 11200<br>0       | 16000<br>0       |            |            |

| LATAO MACIÇO |            |               |            |                   |                  |                  |                  |                  |            |            |
|--------------|------------|---------------|------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------|
| MMQ          |            |               |            |                   |                  |                  |                  |                  |            |            |
| X            | $\sigma_x$ | Y             | $\sigma_y$ |                   |                  |                  |                  |                  |            |            |
| $t^2$        | inc $t^2$  | Distância (m) | inc        | $XY/(\sigma_y^2)$ | $(X/\sigma_y)^2$ | $X/(\sigma_y^2)$ | $Y/(\sigma_y^2)$ | $1/(\sigma_y^2)$ | a          | b          |
| 3,744        | 0,07       | 0,400         | 0,005      | 59908             | 560769           | 149769           | 16000            | 40000            | 0,104      | -0,003     |
| 5,915        | 0,07       | 0,600         | 0,005      | 141951            | 1399311          | 236585           | 24000            | 40000            |            |            |
| 8,202        | 0,10       | 0,800         | 0,005      | 262480            | 2691238          | 328100           | 32000            | 40000            | $\sigma_a$ | $\sigma_b$ |
| 9,278        | 0,10       | 1,000         | 0,005      | 371125            | 3443337          | 371125           | 40000            | 40000            | 0,001      | 0,008      |
|              |            |               |            | Sxy               | Sx <sup>2</sup>  | Sx               | Sy               | S1               |            |            |
|              |            |               |            | 835463            | 8094655          | 1085578          | 112000           | 160000           |            |            |
| 1ª Interação |            |               |            |                   |                  |                  |                  |                  |            |            |
| X            | $\sigma_x$ | Y             | $\sigma$   |                   |                  |                  |                  |                  |            |            |
| $t^2$        |            | Distância (m) | inc        | $XY/(\sigma_y^2)$ | $(X/\sigma_y)^2$ | $X/(\sigma_y^2)$ | $Y/(\sigma_y^2)$ | $1/(\sigma_y^2)$ | a          | b          |
| 3,744        |            | 0,400         | 0,01       | 59907,6           | 560768,8         | 149769,0         | 16000,0          | 40000,0          | 0,104      | -0,003     |
| 5,915        |            | 0,600         | 0,01       | 141951,0          | 1399311,1        | 236585,0         | 24000,0          | 40000,0          |            |            |
| 8,202        |            | 0,800         | 0,01       | 262479,9          | 2691237,6        | 328099,8         | 32000,0          | 40000,0          | $\sigma_a$ | $\sigma_b$ |
| 9,278        |            | 1,000         | 0,01       | 371124,6          | 3443337,5        | 371124,6         | 40000,0          | 40000,0          | 0,001      | 0,008      |
|              |            |               |            | Sxy               | Sx <sup>2</sup>  | Sx               | Sy               | S1               |            |            |
|              |            |               |            | 835463            | 8094655          | 1085578          | 112000           | 160000           |            |            |

| LATÃO MACIÇO |       |
|--------------|-------|
| X teórico    | X MMQ |
| 0,400        | 0,385 |
| 0,600        | 0,610 |
| 0,800        | 0,847 |
| 1,000        | 0,958 |

| LATÃO OCO |       |
|-----------|-------|
| X teórico | X MMQ |
| 0,400     | 0,389 |
| 0,600     | 0,622 |
| 0,800     | 0,792 |
| 1,000     | 0,997 |

ponto que vc  
desprezou no seu  
ajuste...

Determinação experimental do valor de K a partir dos dados coletados:

K a partir do gráfico?

## Determinação de K

dada a relação:  $X = X_0 + V_0 t + \frac{g \cdot \sin \alpha \cdot t^2}{2K}$

pois  $X_0$  e  $V_0$  valendo 0, teremos:

$$K = \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2X}, \text{ em que: } g = \text{aceleração da gravidade}$$

$$\sigma_K^2 = K^2 \left[ \left( \frac{\sigma_t}{t} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_g}{g} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{\sin \alpha}}{\sin \alpha} \right)^2 \right] \quad \begin{array}{l} \alpha = \text{inclinação do plano} \\ \text{com o horizontal} \end{array}$$

$$\text{Como } \sigma_g \cong 0, \sigma_K = K \sqrt{\left( \frac{\sigma_t}{t} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{\sin \alpha}}{\sin \alpha} \right)^2} \quad \begin{array}{l} t = \text{tempo médio} \\ X = \text{distância percorrida} \\ \text{no plano} \end{array}$$

Então:

constante = P

1,56

$$K_{\text{Alumínio}} = \frac{9,78 \cdot 0,0329 \cdot 3,16^2}{2 \cdot 1,2} \cong 1,30 \pm 0,06$$

1,80

$$K_{\text{latão oco}} = P \cdot 3,38^2 \cong 1,48 \pm 0,06$$

$$K_{\text{latão maciço}} = P \cdot 3,09^2 \cong 1,25 \pm 0,06$$

1,50

A incerteza de X não foi usada porque ela já se encontra dentro de  $\sigma_{\sin \alpha}$ , uma vez que  $\sin \alpha = \frac{H}{X}$

$$\sigma_{\sin \alpha} = \frac{H}{X} \rightarrow \left( \frac{\sigma_{\sin \alpha}}{\sin \alpha} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_X}{X} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_H}{H} \right)^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \sigma_{\sin \alpha} = \sin \alpha \cdot \sqrt{\left( \frac{\sigma_X}{X} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_H}{H} \right)^2} = 0,0329 \cdot \sqrt{\left( \frac{1 \cdot 10^{-2}}{1,2} \right)^2 + \left( \frac{1 \cdot 10^{-4}}{39,6 \cdot 10^{-3}} \right)^2}$$

$$\rightarrow \sigma_{\sin \alpha} = 3 \cdot 10^{-4}$$

## Discussão:

errou na conta...

-Era esperado que os valores de K para os cilindros maciços fossem iguais a 1,50, o que não foi atingido pelo experimento, visto que, mesmo com as incertezas, os dois cilindros não possuem um K compatível com o teórico esperado. A mesma falha se apresenta em relação ao cilindro de latão dito oco, em que se esperava um valor de K igual a 2, que também não foi compatível com o valor encontrado.

-O método de MMQ se mostrou eficaz para a determinação de b, que deveria ser 0, uma vez que se trata de  $x_0$ , ~~enquanto o valor de a obtido possui uma incerteza muito pequena em relação ao seu valor, o que evidencia uma precisão maior do obtido, esse método se mostrou preciso e atingiu os resultados esperados.~~ Graficamente, nota-se que o valor de B encontrado está longe de ser nulo, visto que os dois gráficos construídos não passam pela origem (0,0), evidenciado esse erro experimental, além disso, em um deles, vê-se um ponto experimental que provavelmente foi um erro de medida, pois se encontra muito fora do padrão seguido pelos demais.

Má escolha do retângulo

-De acordo com os resultados obtidos, pode-se dizer que o valor de K para o cilindro oco aponta para uma distribuição de massa mais uniforme, uma vez que, se a massa fosse concentrada nas “pontas” do mesmo, este valor de K seria maior. Há compatibilidade do valor encontrado em relação ao K teórico ( $3/2$ ) de um cilindro maciço, entretanto, isto pode ser apenas mais um erro, visto que os outros dois cilindros atingiram resultados sem compatibilidade com o valor teórico.

-Sugestões:

- Utilizar uma prancha maior como rampa, com a finalidade de aumentar o tempo do movimento e diminuir o erro experimental em relação ao tempo de reação, uma vez que isso faria com que o erro experimental fosse proporcionalmente menor, atingindo uma maior precisão dos dados coletados
- Marcar com uma fita todas as distâncias finais que o cilindro deve chegar, não apenas a de 1,0 metro
- Realizar o experimento em laboratório, não virtualmente. Dessa forma o experimento não é comprometido pelo uso da câmera filmadora, diminuindo o erro de medida e o efeito de paralaxe além de ser um ambiente em que os alunos realizam o processo experimental, tornando a análise mais simples..

## Conclusão:

-Os métodos usados na realização do trabalho se mostraram parcialmente eficazes: a determinação experimental para o valor de K a partir dos dados coletados não atingiu o objetivo esperado, os valores não foram compatíveis e os gráficos também não foram capazes de atingir os valores teóricos. O maior problema se deu no modo com o qual o experimento foi feito, para que as equações e cálculos esperados funcionasse, era

necessário considerar a ausência de atrito ou que o comportamento do cilindro fosse extremamente específico: que ele não deslizesse e tivesse uma massa distribuída de forma simétrica ao redor de seu eixo, assim, todas as contas foram feitas em relação ao seu centro de massa teórico, além disso, a imprecisão no tempo medido também foi uma dificuldade que tornou o experimento falho, havendo pontos fora do comportamento esperado, retas não compatíveis nos gráficos e erros nas medidas.