Série 2 - atividade 2B

22/03/2022

→ Estudo do ~~ou~~ rolamento de um cilindro numa superfície horizontal

Sent +

• José Nicolau Pereira, grupo 1, PL2

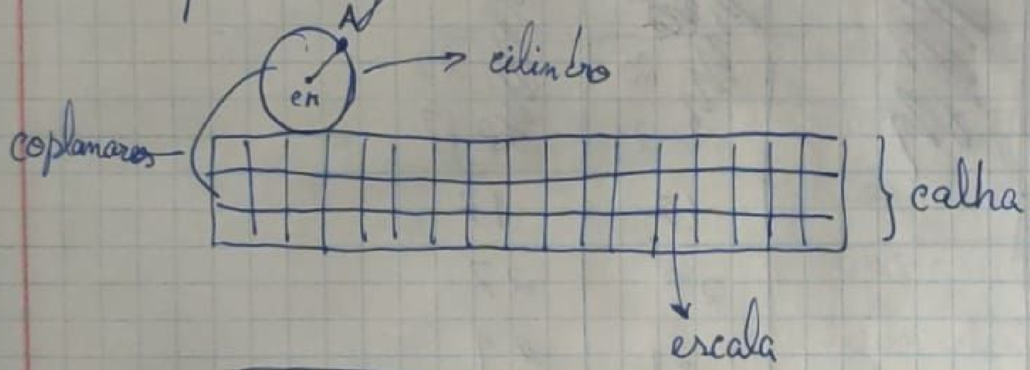
→ Objetivos:

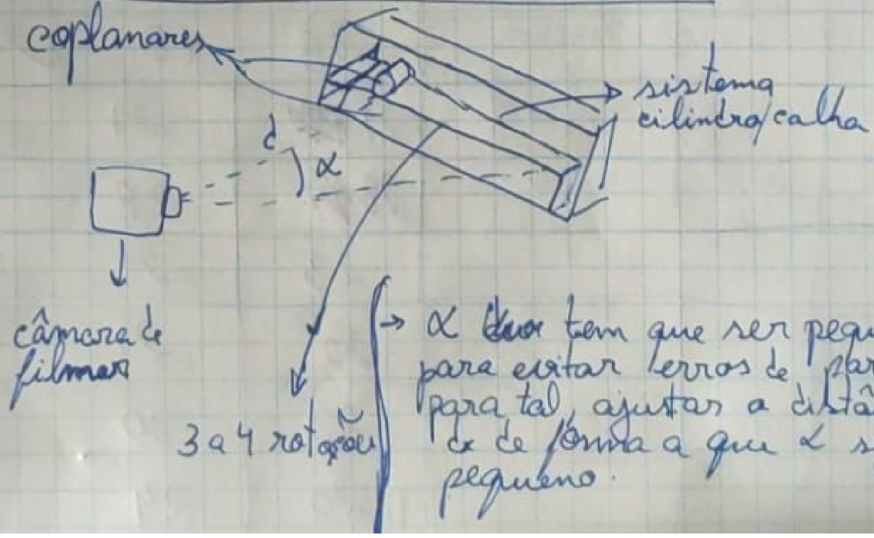
• Verificar que o movimento de um ponto do cilindro resulta do movimento de translação do CM e do movimento de rotação do ponto em torno do CM e que a ~~velocidade~~ condição de rolamento sem deslize é $v_{CM} = \omega r$.

⊛ parâmetro?

• Mostrar que o ponto de contacto do cilindro com o plano tem velocidade nula e que no topo atinge a velocidade máxima.

começou a mudar o objetivo!





→ α ~~deve~~ tem que ser pequeno para evitar erros de paralaxe; para tal, ajustar a distância d de forma a que α seja pequeno.

nivelar ...

d ~ 3 m

Método experimental:

→ Medir o diâmetro do cilindro, utilizando uma craveira

→ Nivelar a calha, assegurando que v_{cm} tem aproximadamente o mesmo valor em ambos os sentidos.

e iluminar ~~de forma homogénea~~ bem o local da experiência.

→ Iniciar o lançamento, manualmente, garantindo um número suficiente de pontos por unidade de tempo com a câmara de filmar.

MLSt

$d_{cilindro} = 68,30 \pm 0,05$ mm

n	iluminação		nº pontos / rotação	
			i	f
1		[illegible]	~~[illegible]~~ 15	~~[illegible]~~ 16
2		[illegible]	~~[illegible]~~ 20	~~[illegible]~~ 22
3		[illegible]	~~27~~ 21	~~26~~ 17
4			17	17
5			28	27
6			21	21
7			18	18 ✓
8			21 ~~[illegible]~~	21
9			28 ~~27~~	28
10			23	21
11			22	21
12			23	30
13			20	24

MLSt

vi gráfico ok

Bt

→ Em geral, todos os vídeos têm boa iluminação

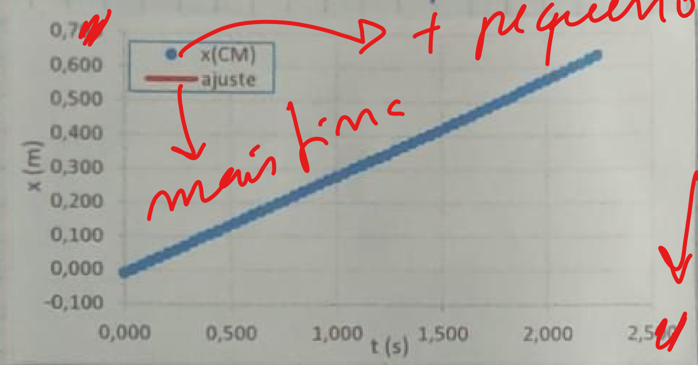
De todos os vídeos foi escolhido o nº 7, já que apresenta o melhor número de ~~xx~~ imagens por rotação (17), assim como é um vídeo com ~~menos osci~~ vídeo em que a oscilação da câmara é praticamente nula. Para além disso, o nº de pontos na primeira rotação é igual ao nº de pontos na última rotação, o que indica que a velocidade é aproximadamente constante ao longo do movimento.

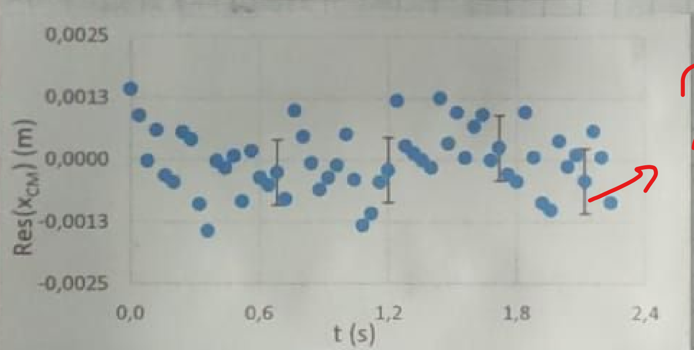
GRÁFIOS MAIORES

→ x_{CM} em função do tempo

+ pequenos

mais fino





?

m	0,28708	-0,00748	b
σ_m	0,00013	0,00017	σ_b
r^2	0,999988	0,00066	$\sigma_{x\,aj}$
u(x aj) =	0,0013		

alg. signif. errados

Verifica-se um crescimento linear do valor de x_{CM} relativamente ao tempo. Feito o ajuste aos dados experimentais é ~~po~~ evidente a proximidade dos dados com o mesmo.

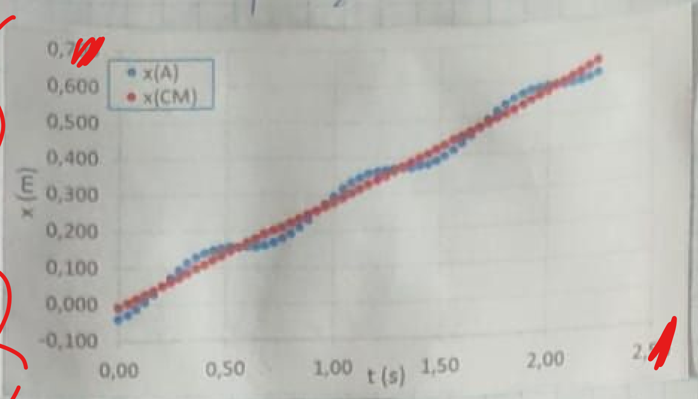
Dado que o gráfico representado é um gráfico posição tempo, o declive da reta representada é v_{CM}.

Assim, vem que

$$v_{CM} = 0,28708 \pm 0,00013 \ ms^{-1}$$

Aula de feedback é p'ó: não serviu para nada?

→ sobreposição de x_A e x_{CM}



Existe intersecção dos dois gráficos em 6 instantes diferentes: $t_1 = 0,200\,s$; $t_2 = 0,560\,s$; $t_3 = 0,920\,s$; $t_4 = 1,320\,s$; $t_5 = 1,180\,s$; $t_6 = 2,040\,s$ (todos com uma incerteza associada de $\pm 0,020\,s$), obtida por estimativa por visualização do gráfico

Entre t_1 e t_5 há 2 rotações completas, pelo que

$$T = \frac{|t_1 - t_5|}{2} = \frac{1,480}{2} = 0,740\,s$$

Para a velocidade angular, ω, sabemos que $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,740} = 8,4908\ rad\ s^{-1}$$

$$\omega = 8,5 \pm 0,2\ rad\ s^{-1}$$

$$u^2(\omega) = u^2\left(\frac{4\pi}{t_1 - t_5}\right)$$

$$= \left(\frac{d\omega}{dt_1}\right)^2 u^2(t_1) + \left(\frac{d\omega}{dt_5}\right)^2 u^2(t_6)$$

$$= \frac{4\pi}{(t_1 - t_5)^2} \cdot \sqrt{u^2(t_1) + u^2(t_5)} = 0,2\ rad\ s^{-1}$$

Substituindo na equação do movimento

$$x_A(t) = v_{CM}\left(t + \frac{1}{\omega}\sin(\omega t)\right)$$

$$\Rightarrow x_{A_{aj}}(t) = v_{CM\,aj} \cdot \left(t + \frac{\sin(\omega t)}{\omega}\right)$$

$$= 0,28208 \cdot \left(t + \frac{\sin(8,4908\,t)}{8,5}\right)$$

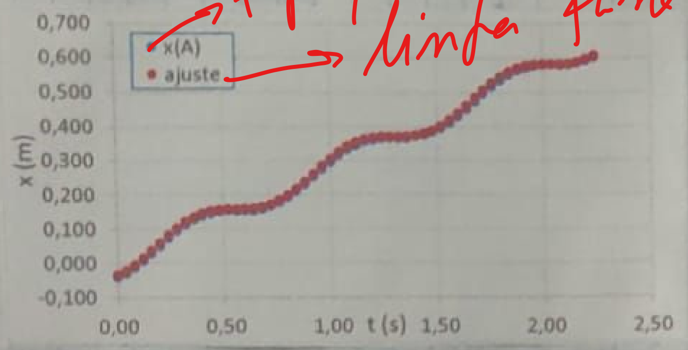
→ x_A relativamente a x_{Aaj}

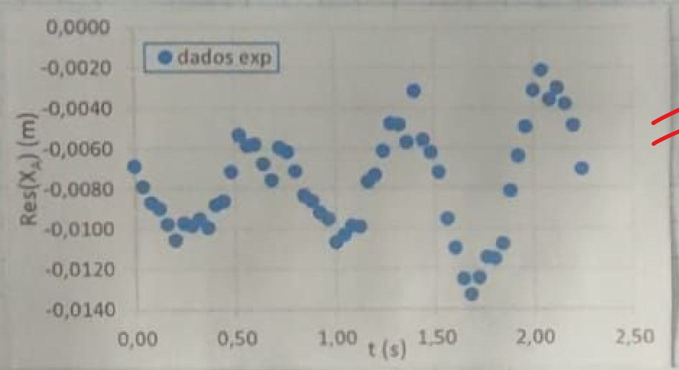
Inicialmente, o gráfico de x_{Aaj} em função de t apresentava uma diferença de fase relativamente ao gráfico de x_A. Assim, para que houvesse sobreposição de gráficos foi introduzido no valor teórico, x_{Aaj}), uma diferença de fase de $-\frac{\pi}{2}$, resultando na expressão

$$x_{Aaj}(t) = v_{cm_{aj}}\left(t + \frac{1}{\omega}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)\right)$$

+ pequeno

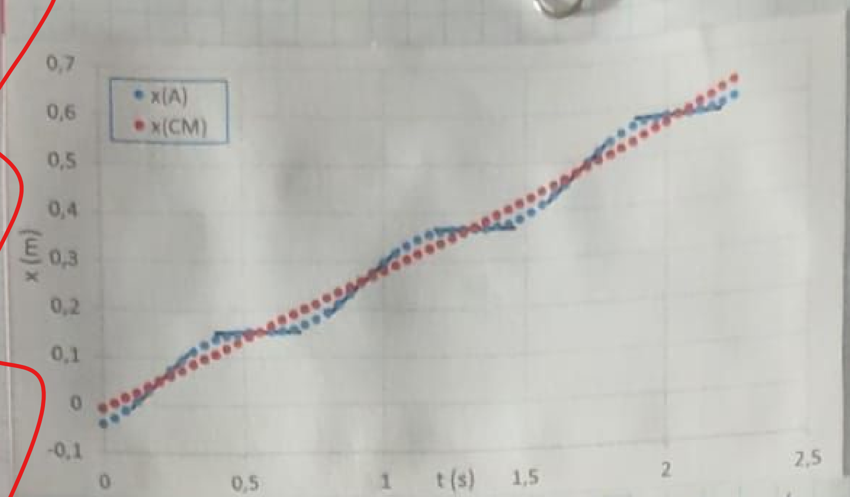
linha fina





fase mal ajustada!

Por observação do gráfico, é evidente a sobreposição dos valores experimentais sobre o ajuste.



consulta a aula de feedback!

Nos vizinhança dos pontos de interseção, sabemos que $\sin\theta << 1$, pelo que, por expansão de Taylor, podemos fazer a aproximação $\sin\theta \sim \theta$*. Assim, as retas tangentes ~~ao~~ aos pontos de interseção são obtidas fazendo um ajuste linear do ponto de interseção, com os pontos imediatamente antes e depois do mesmo.

Para os instantes t_2, t_4 e t_6 é possível observar que o declive da reta tangente é praticamente nulo, o que seria de esperar, já que correspondem aos ~~[illegible]~~ instantes em que A está em contacto com o solo e $m = \frac{dx_{A_j}}{dt} = v_{A_j}$.

Já nos ~~pontos t_1~~ instantes t_1, t_3 e t_5 podemos ver um declive máximo, correspondente aos instantes em que A está no topo do cilindro.

→ Velocidade de A em contacto com a calha

$$\bar{v}_A = \frac{m_{t_2} + m_{t_4} + m_{t_6}}{3} = \frac{0}{3} = 0\ m s^{-1}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{3-1}\sum_{i=1}^{3}(v_{A_i} - \bar{v}_A)^2} = 0\ m s^{-1}$$

$$u(\bar{v}_A) = 0\ m s^{-1}$$

* aproximando a curva a uma reta

Tan1			
m	0,567	-0,062	b
σ_m	0,008	0,002	σ_b
r^2	0,99978	0,0005	$\sigma_{Xcm\ aj}$

Tan2			
m	0,000	0,154	b
σ_m	0,006	0,003	σ_b
r^2	-4,0E-16	0,0003	$\sigma_{Xcm\ aj}$

Tan3			
m	0,557	-0,259	b
σ_m	0,003	0,003	σ_b
r^2	0,99997	0,0002	$\sigma_{Xcm\ aj}$

Tan4			
m	0	0,367	b
σ_m	0	0	σ_b
r^2	1	0	$\sigma_{Xcm\ aj}$

Tan5			
m	0,567	-0,48	b
σ_m	0,008	0,01	σ_b
r^2	0,99978	0,0005	$\sigma_{Xcm\ aj}$

Tan6			
m	0,00	0,58	b
σ_m	0,02	0,03	σ_b
r^2	-5E-16	0,0009	$\sigma_{Xcm\ aj}$

→ velocidade de A no topo do cilindro

$$\bar{v}_A = \frac{m_{t_1} + m_{t_3} + m_{t_5}}{3} = \frac{0,567 + 0,557 + 0,567}{3} = 0,56367$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \sum_{n=1}^{3} (v_{A_i} - \bar{v}_A)} = 0,005$$

$$u(\vec{v}_A) = \frac{0,005}{\sqrt{3}} = 0,003$$ → % ?

FALTA ⊗ $v_{CM} \leftrightarrow \omega R$?

$$v_A = 0,564 \pm 0,003 \text{ m s}^{-1}$$

→ teoricamente

$$v_A = 2 v_{CM} = 2 \cdot 0,28708 = 0,57416 \text{ m s}^{-1}$$

$$E(\%) = \frac{|\bar{v}_A - v_{A\,teórica}|}{v_{A\,teórico}} \cdot 100 \approx 1,88\% \rightarrow 2\%$$?

Resultados Finais ? ?

→ Conclusão

Foi obtido um valor de $v_{CM} = 0,2870 \pm 0,0001 \text{ m s}^{-1}$ → % inc. ? e uma velocidade angular experimental de $\omega = 8,50 \pm 0,2 \text{ rad s}^{-1}$. No ponto de contacto com a superfície, como era previsto, foi observado ~~que o ponto~~ que $v_A = 0 \text{ m s}^{-1}$ e que a velocidade do ponto A no topo do cilindro é ~~aproximadamente~~ $2 v_{CM}$ (~~$v_A = 0,574 \pm 0,003 \text{ m s}^{-1}$~~) com um erro de 2% relativamente ao ~~valor teórico~~. Todas estas conclusões sustentam a suposição inicial da condição de rolamento ~~sem escorregamento~~ de que $v = \omega r$.

errado!

% de dif. entre v_{CM} e ωR é que dá a verificação ou não dessa condição ?