

Roteiro do Experimento “Velocidade Relativa (Trem)” Parte I – Referencial do Laboratório

A) Introdução ao experimento

Um trem parte do repouso e ganha velocidade uma vez abandonado do alto de uma rampa. Em certo ponto do trajeto há um túnel e, na iminência da travessia, uma bolinha é lançada da chaminé do trem para o alto. A bolinha contorna o túnel externamente, enquanto que o trem o atravessa por dentro. Após a travessia, a bolinha retorna para o trem, caindo de volta na chaminé. O experimento consiste no estudo dos movimentos do trem e da bolinha e na investigação acerca do vínculo que possuem.

O objetivo desta primeira parte do experimento é a análise dos movimentos do trem e da bolinha desde o *referencial do laboratório*, buscando compreender por que a bolinha cai dentro da chaminé após a travessia do túnel.

B) Procedimento de análise

B1. Assista aos vídeos do experimento e observe atentamente os movimentos do trem e da bolinha. Reflita sobre as seguintes questões:

- i. Em relação à sua descrição cinemática, o que os movimentos do trem e da bolinha têm em comum?
- ii. Existe aceleração em algum destes movimentos? Se sim, identifique em qual e descreva o vetor aceleração.

B2. Observe os quadros da situação que lhe foi indicada e adote um ponto da referência quadriculada como origem do seu sistema de coordenadas cartesianas. O quadriculado possui linhas vermelhas, horizontais e verticais, separadas a cada 2 cm. Observe que a cada 10 cm as linhas possuem cor azul, para facilitar e agilizar a tomada de dados.

Escolha algum ponto da *borda da bolinha* para adotar como referência ao medir as posições dela, e monte uma tabela, associando a cada quadro i o instante de tempo t_i e as posições horizontal $x_{(b,L)}(t_i)$ e vertical $y_{(b,L)}(t_i)$ da bolinha (b) no referencial do laboratório (L).

Escolha agora um ponto da *borda da chaminé do trem* para adotar como referência, e adicione uma coluna à tabela já montada, respectiva à posição horizontal $x_{(T,L)}(t_i)$ do trem (T) no referencial do laboratório (L) nos instantes t_i .

Adote 2 mm como incerteza para as posições horizontais e verticais, isto é, $\sigma_x = \sigma_y = 0,2 \text{ cm}$, e despreze a incerteza no tempo.

B3. Construa, *num mesmo sistema de eixos*, os gráficos referentes às posições horizontais da bolinha e do trem em função do tempo, e interprete seu comportamento. Construa um novo gráfico, referente à posição vertical da bolinha em função do tempo e interprete-o. Não se esqueça das respectivas barras de erro.

B4. A partir da tabela do item B2, calcule as componentes da velocidade média da bolinha e do trem para os intervalos de tempo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$, no *referencial do laboratório*, que são dadas por:

$$\bar{v}_{x[t_{i-1};t_{i+1}]} = \frac{x(t_{i+1}) - x(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (1)$$

$$\bar{v}_{y[t_{i-1};t_{i+1}]} = \frac{y(t_{i+1}) - y(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (2)$$

Onde x , y e t correspondem, respectivamente, à posição horizontal ($x_{(b,L)}$ ou $x_{(T,L)}$), à posição vertical ($y_{(b,L)}$) e ao instante de tempo, enquanto que \bar{v} simboliza a velocidade média linear e i o número do quadro

em questão. Note que não dispomos de dados para calcular a velocidade vertical do trem, já que a cabine se move apenas na direção horizontal.

Atenção! A notação $x(t_{i+1})$ na fórmula significa apenas a posição horizontal da bolinha ou do trem no instante de tempo t_{i+1} , e não o produto da posição pelo instante de tempo!

B5. Como o intervalo de tempo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$ é pequeno, supomos:

$$v_x(t'_i) \approx \bar{v}_{x[t_{i-1}; t_{i+1}]} \quad (3)$$

$$v_y(t'_i) \approx \bar{v}_{y[t_{i-1}; t_{i+1}]} \quad (4)$$

Ou seja, a velocidade média neste intervalo de tempo é, com boa aproximação, igual à velocidade instantânea no instante médio t'_i , dado por:

$$t'_i = \frac{t_{i-1} + t_{i+1}}{2} \quad (5)$$

Note que como os instantes de tempo demarcados nos quadros são equidistantes entre si, teremos que $t'_i = t_i$ para todos os i possíveis (não será possível estimar a velocidade nem no primeiro nem no último quadro).

B6. Com os valores das velocidades instantâneas deduzidas nos itens B4 e B5, e construa um gráfico para cada uma delas em função dos instantes médios. Interprete estes gráficos. Não se esqueça das respectivas barras de erro, lembrando que as incertezas nas componentes da velocidade são dadas por:

$$\sigma_{v_x} = \frac{\sqrt{2} \sigma_x}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (6)$$

$$\sigma_{v_y} = \frac{\sqrt{2} \sigma_y}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (7)$$

Note que como $\sigma_x = \sigma_y = 0,2 \text{ cm}$ e $t_{i+1} - t_{i-1}$ é uma constante, pois os quadros são equidistantes entre si, todos os pontos de velocidade terão uma mesma incerteza associada.

Até este ponto, você deve ter construída uma tabela *semelhante* a esta:

Tabela 1. Modelo de tabela para a análise do problema no *referencial do laboratório*.
 A coluna do instante médio foi omitida, pois $t'_i = t_i$ para todo i .

t (s)	Bolinha				Trem		Incertezas		
	$x(b,L)$ (cm)	$y(b,L)$ (cm)	$v_x(b,L)$ (cm/s)	$v_y(b,L)$ (cm/s)	$x(T,L)$ (cm)	$v_x(T,L)$ (cm/s)	σ_t (s)	$\sigma_x = \sigma_y$ (cm)	$\sigma_{v_x} = \sigma_{v_y}$ (cm/s)
###	###	###			###		0	###	###
###	###	###	###	###	###	###			
###	###	###	###	###	###	###			
###	###	###	###	###	###	###			
###	###	###			###				

B7. Ajuste uma linha de tendência ao gráfico da velocidade vertical da bolinha em função do instante médio, construído no item B6, e a partir da equação de reta fornecida pelo software utilizado, identifique e interprete seu coeficiente angular α . Calcule a incerteza no coeficiente angular α a partir da seguinte equação:

$$\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_{v_y}}{T} \sqrt{\frac{12}{N}} \quad (8)$$

Onde σ_{v_y} foi calculada no item B6 pela Equação 7, T é o intervalo de tempo total compreendido pelo gráfico para a velocidade vertical da bolinha, e N é o número de pontos deste gráfico.

A dedução das Equações 6 e 7 e uma explicação para a Equação e 8 constam no [Roteiro de Cálculo de Incertezas](#), nas seções 3.3 e 4.6.

B8. Calcule a média das velocidades horizontais e sua incerteza, tanto para a bolinha quanto para o trem, a partir das equações a seguir:

$$\langle v_x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (v_x)_j \quad (9)$$

$$\sigma_{\langle v_x \rangle} = \frac{\sigma_{v_x}}{\sqrt{N}} \quad (10)$$

Onde v_x foi calculada no item B5 pela Equação 3, σ_{v_x} foi calculada no item B6 pela Equação 6 e N é o número de pontos de cada um dos gráficos de velocidade horizontal construídos no item B6.

Compare os resultados obtidos para $\langle v_x \rangle_{(b,L)}$ e $\langle v_x \rangle_{(T,L)}$, reflita se os mesmos eram ou não esperados e procure esclarecer como esta informação explicaria o fato de a bolinha cair dentro da chaminé após a travessia do túnel.

C) Procedimento de elaboração da síntese

Nesta etapa de análise do experimento, você deve determinar as componentes das velocidades da bolinha e do trem, graficá-las e interpretá-las. Você deve entregar apenas uma síntese dos resultados experimentais; o relatório propriamente dito será feito na Parte II do experimento, onde faremos uma análise global do sistema em estudo.

A síntese desta primeira parte deve conter as seções relacionadas abaixo:

C1. Identificação: inclua nome, turma e a identificação do conjunto de dados (situação) que analisou.

C2. Dados Obtidos: apresente a tabela relativa ao item B2, os gráficos solicitados no item B3, bem como sua interpretação. Verifique se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com número adequado de algarismos significativos, bem como se incluiu barras de erro em todos os gráficos.

C3. Análise de Dados: apresente agora a tabela obtida desde o item B2 até o item B6, tendo como exemplo de base a Tabela 1. Inclua também os gráficos solicitados no item B6, bem como sua interpretação. Verifique também se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com número adequado de algarismos significativos, bem como se incluiu barras de erro em todos os gráficos.

C4. Discussão e Conclusão: inclua o gráfico ajustado relativo ao item B7, o valor encontrado para o coeficiente angular do mesmo e sua respectiva incerteza, bem como sua interpretação. Apresente os valores médios de velocidade horizontal e suas respectivas incertezas, obtidos no item B8, bem como sua interpretação. Conclua, uma vez dispondo de todos os dados no *referencial do laboratório*, respondendo às questões de reflexão do item B1.