

4

Análise gráfica do movimento de um corpo em um plano inclinado.

1. Introdução

Nesta atividade, iremos obter e analisar gráficos que descrevem o movimento de um corpo deslizando sobre um plano inclinado. Este experimento simples tem importância histórica na obtenção de um modelo capaz de descrever o movimento de um corpo sob a influência da gravidade. O primeiro cientista a abordar esse tema foi Galileu Galilei. Nascido em meados do século XVI, Galileu baseava suas teorias em observações e experimentos. Por volta de 1604, ele conseguiu, por meio de um aparato sistemático e engenhoso, o plano inclinado, estudar a queda livre dos corpos de maneira satisfatória. Nessa época não se dispunha de equipamentos muito precisos para a medição de intervalos curtos de tempo, de forma que era necessário reduzir a velocidade de queda dos corpos para observar as características de seu movimento. O plano inclinado de Galileu é, portanto, uma espécie de “controlador da gravidade”, exercendo justamente esse papel de aumentar o tempo de queda.

2. Procedimento experimental

O arranjo experimental está esquematizado na Figura 1. Selecione o número de blocos de madeira e os posicione sob uma das bases do trilho de ar.



Figura 1

Para a gravação, coloque o trilho de ar sobre o tripé de maneira a estabilizar a tela do celular de forma paralela ao plano de movimento do carrinho, mantendo essa orientação ao longo de todo o deslocamento, conforme ilustrado na Figura 2.

EM HIPÓTESE ALGUMA FAÇA O CARRINHO DESLIZAR SOBRE OS TRILHOS SEM QUE A SAÍDA DE AR ESTEJA OPERANDO.



Figura 2

Posicione o celular aproximadamente no centro da trajetória do carrinho e a uma distância suficiente da parede para capturar todo o movimento no trilho de ar. A maioria dos celulares registra vídeos a uma taxa de 30 quadros/segundo (fps)¹, enquanto alguns permitem uma gravação com 60 quadros/segundo, verifique o seu dispositivo.

2.1 Instruções

O professor atribuirá a cada grupo de alunos, diferentes números de blocos de madeira que serão colocados sob uma das extremidades do trilho de ar. Para evitar que o carrinho adquira uma velocidade muito alta e o impacto ao final do trilho seja muito forte, não devem ser usados mais do que 10 blocos. Além disso, as hastes com elásticos serão usadas como proteção para amortecer a colisão do carrinho ao final do trilho. **A distância entre os pés do trilho é de 100 cm.** Esse valor pode ser utilizado para calibrações no

¹ Grandeza usualmente expressa em fps (do inglês *frames per second*)

software de análise. Para tal utilizaremos o software Tracker². Este programa pode ser instalado no computador, e baixado gratuitamente do endereço eletrônico: <https://physlets.org/tracker/>. Há um tutorial básico do programa na página da disciplina.

Uma vez que o celular tenha sido posicionado para gravar o filme, ligue o compressor que joga ar no trilho. Verifique qual é o nível adequado de saída de ar para que o atrito seja minimizado ao máximo sem causar trepidação no carrinho. Posicione o carrinho sobre o trilho. Feito isto, inicie a filmagem. Após o término do movimento, retire o carrinho do trilho e desligue o compressor.

3. Resultados

Usando o programa Tracker®, importe seu filme, calibre as dimensões da imagem, e faça as marcações necessárias para obter a posição em função do tempo para pelo menos 10 pontos. Uma sugestão, se seu celular filma com 30 fps, é registrar medidas de 3 em 3 quadros, resultando em $\Delta t=0,1$ s.

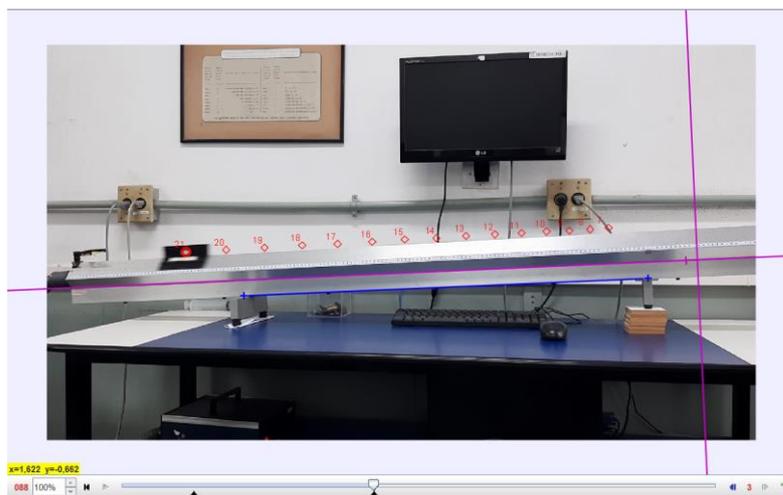


Figura 3

A partir de suas medidas, produza no próprio Tracker três gráficos mostrando a evolução de grandezas medidas em função do tempo durante o movimento ao longo do trilho: posição, velocidade e aceleração. Escolha uma das três grandezas medidas em função do tempo (x , v_x ou a_x) e monte uma tabela, com pelo menos 10 pontos, que depois será usada por você para fazer um gráfico em papel.

² Tracker é uma ferramenta gratuita de vídeo análise e modelagem construída em Open Source Physics (OSP). É uma ferramenta desenvolvida para ser utilizada no ensino de física. (TRACKER, 2024, tradução dos autores)

Exemplo:

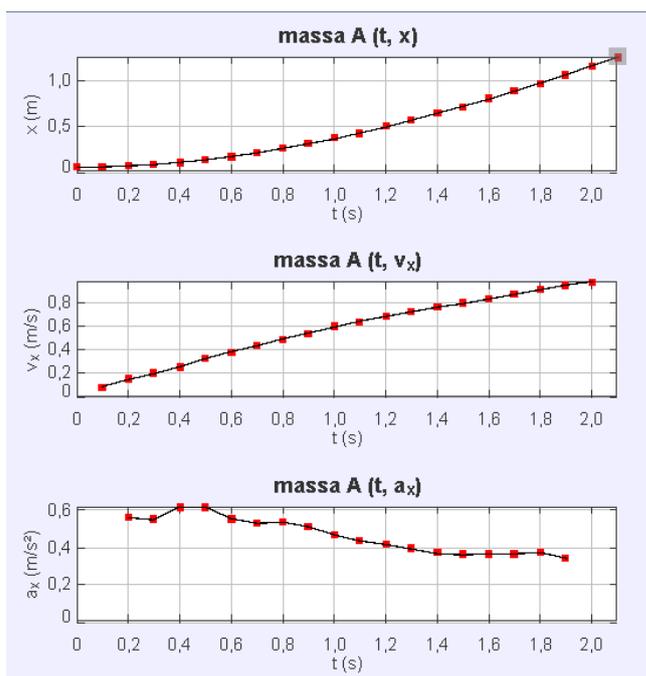


Figura 4

t (s)	x (m)
0,00	0,05
0,20	0,07
0,40	0,11
0,60	0,17
0,80	0,26
1,00	0,37
1,20	0,50
1,40	0,64
1,60	0,80
1,80	0,97

Tabela 1

Obs.: Na Tabela 1 estão registrados apenas um em cada dois pontos do gráfico de $x(t)$.

4. Discussão qualitativa de seus gráficos

Compare seus resultados com o caso modelo de um carrinho descendo o plano inclinado apenas sob a ação da gravidade e da força normal. Chame seu professor e apresente brevemente para ele seus resultados e sua discussão.

Exemplo:

“Os gráficos acima mostram posição x , velocidade v_x e aceleração a_x de um carrinho descendo o plano inclinado dado pelo trilho de ar. O gráfico de a_x mostra uma aceleração constante, com flutuações da ordem de 5% até aproximadamente $t=0,6$ s. Aceleração constante é um resultado esperado para o movimento sujeito apenas à ação da gravidade e à força normal. Para velocidades maiores, percebe-se uma diminuição da aceleração, sugerindo a ação de uma outra força. Esse comportamento pode também ser percebido no gráfico de v_x , que se desvia de uma reta (que tem inclinação constante) para tempos maiores que aproximadamente 0,6 s. No gráfico de x , é mais difícil perceber desvios de um comportamento parabólico, que seria esperado para uma força resultante constante. Uma possível causa desse comportamento é a atuação da força de resistência do ar, que aumenta à medida que a velocidade aumenta.”

5. Confeção de um gráfico em papel, a partir de sua tabela

A partir de seus dados, use o papel quadriculado para fazer um gráfico, em função do tempo, de posição OU velocidade OU aceleração. É importante que

- i) seu gráfico não fique espremido em um canto da folha,
- ii) você escolha uma escala que facilite a marcação e a posterior leitura dos pontos,
- iii) as posições dos pontos no gráfico correspondam aos valores na tabela,
- iv) os eixos tenham títulos e unidades claramente apresentados, e
- v) a escala esteja limpa (não marque nela os valores dos pontos).

Obs. 1: Não ligue os pontos.

Obs. 2: Na próxima aula você fará uma prova baseada na confecção e interpretação de gráficos. Aproveite este momento para se preparar.

6. Discussão quantitativa de seus resultados (opcional)

Sua tarefa de análise e interpretação de dados já terminou. Se você tiver curiosidade de como poderia ser feita aqui uma análise quantitativa de seus dados, prossiga com a leitura. São dois exemplos de análise quantitativa aproveitando o exemplo acima. Para os dois é importante ter uma medida do seno do ângulo θ de inclinação do plano. Da foto da montagem vemos que 6 blocos foram utilizados sob um dos pés do trilho. Cada bloco tem espessura de cerca de 1 cm. A distância entre os pés é de 100 cm. Assim, $\sin(\theta)$ é aproximadamente igual a 0,06. Supondo apenas a ação das forças peso e normal sobre o bloco, segue que $a_x = g \sin(\theta)$, e portanto $g = a_x / \sin(\theta)$. Usamos dois caminhos para determinar a_x enquanto a resistência do ar ainda não é relevante:

A. Análise estatística.

A análise estatística dos 4 primeiros dados no gráfico de a_x fornece valor médio $0,59 \text{ m/s}^2$, desvio padrão $0,04 \text{ m/s}^2$, e erro no valor médio (σ/\sqrt{N}) igual a $0,02 \text{ m/s}^2$. Portanto, $\overline{a_x} = (0,59 \pm 0,02) \text{ m/s}^2$. Desprezando a incerteza em $\sin(\theta)$, temos $g = a_x / \sin(\theta) = \overline{a_x} = (0,59 \pm 0,02) / 0,06 \text{ m/s}^2$, logo, $g = (9,8 \pm 0,3)$. Compare com o valor tabelado.

B. Análise baseada em ajuste de curva

Estimamos a_x , utilizando o próprio Tracker, pela inclinação de uma reta que ajusta os 5 primeiros pontos no gráfico de v_x :



Mais uma vez, $\overline{a_x} = (0,59 \pm 0,02) \text{ m/s}^2$, levando também ao resultado $g = (9,8 \pm 0,3) \text{ m/s}^2$

7. Referências

TRACKER. Tracker vídeo analysis and modeling tool for physics education, c2024. Página inicial. Disponível em: < <https://physlets.org/tracker/>>. Acesso em: jan. de 2024.

HAMMES, Odair; SCHUHMACHER, Elcio. O plano inclinado: uma atividade de modelização matemática. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 2, p. 63-83, 2011.