

Roteiro do Experimento “Rolamento”

A) Introdução ao experimento

Na dinâmica dos corpos rígidos, os rolamentos com e sem escorregamento são fenômenos normalmente intrigantes e pouco intuitivos. Filmamos o rolamento de um aro de bicicleta que, uma vez lançado para frente girando no sentido contrário à sua translação, para e retorna para quem o lançou. O objetivo do experimento é estudar o rolamento de um corpo rígido em diferentes regimes, investigando a condição de transição entre eles e correlacionando os comportamentos das grandezas lineares e angulares.

B) Procedimento de análise

B1. Assista aos vídeos do experimento disponibilizados na página *Vídeos* (acessível a partir da aba *Filmes e Quadros*) e reflita sobre as questões a seguir, tomando nota de suas hipóteses e indagações:

- Inicialmente, o aro translada para a esquerda ou para a direita? E ao final? Explique com suas palavras o movimento de translação do aro, destacando como sua posição linear varia com o tempo.
- Inicialmente, o aro rotaciona no sentido horário ou anti-horário? Ele mantém sempre esse sentido de giro? Explique com suas palavras o movimento de rotação do aro, destacando como sua posição angular varia com o tempo.
- É possível perceber se em algum instante (ou durante algum intervalo de tempo) o aro tem velocidade de translação nula? Em caso afirmativo, explique quando e como você acredita que isso ocorreu, justificando o fato de o aro “rodar parado”.
- Você consegue identificar diferentes regimes, correspondentes a mudanças na dinâmica do movimento do aro? Como seria possível diferenciá-los?
- Com base em suas observações e respostas anteriores, justifique a existência ou ausência de uma força impactante no movimento do aro em cada regime. Para tanto, faça um diagrama de corpo livre, apontando as forças atuantes sobre o aro em cada regime, destacando a direção e o sentido das velocidades linear e angular.

B2. Na aba *Filmes e Quadros*, consulte as instruções a respeito de como proceder com a identificação de seu Conjunto e Grupo de dados. Certifique-se de tê-las compreendido antes de prosseguir com a coleta de dados.

B3. Monte uma tabela com os instantes de tempo t_i (em segundos), as posições lineares x_i (em centímetros) do aro e as posições angulares θ_i (em radianos) do raio-guia, para cada imagem i do seu conjunto e grupo de dados. Para proceder corretamente com as leituras, consulte os documentos auxiliares “*Guia de Leitura das Posições Lineares*” e “*Guia de Leitura das Posições Angulares*”, disponíveis no menu *Guias Auxiliares*. Adote $\sigma_x = 1$ cm e $\sigma_\theta = 0,07$ rad para as incertezas nas posições linear e angular, respectivamente. Para entender a determinação dessas incertezas, consulte o “*Apêndice ao Roteiro*”, disponível na aba *Apresentação*.

B4. Construa os gráficos das posições linear e angular em função do tempo, $x(t)$ e $\theta(t)$. Não esqueça de incluir nos gráficos as barras de incerteza. No gráfico de $x(t)$, podem ser identificados diferentes regimes. Ajuste uma linha de tendência para cada um deles. Repita o mesmo procedimento para o gráfico de $\theta(t)$.

B5. A partir da tabela construída no item **B3**, acrescente duas colunas para o cálculo das velocidades linear e angular médias, \bar{v} e $\bar{\omega}$ do aro no intervalo de tempo $t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}$, que são dadas por:

$$\bar{v}(t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}) = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (1)$$

$$\bar{\omega}(t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}) = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (2)$$

Onde x e θ correspondem às posições linear e angular, t ao instante de tempo e i ao número da imagem.

B6. As velocidades médias dadas pelas equações (1-2) são aproximadamente iguais às velocidades instantâneas no instante médio \bar{t}_i , que acaba sendo o instante em que a imagem entre t_{i-1} e t_{i+1} foi obtida, uma vez que o intervalo de tempo entre sucessivas imagens é sempre o mesmo. Na forma de equação,

$$\bar{t}_i = \frac{t_{i-1} + t_{i+1}}{2} = t_i \quad (3)$$

Por esta razão, podemos adotar as aproximações:

$$\bar{v}(t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}) \cong v(\bar{t}_i) = v(t_i) \quad (4)$$

$$\bar{\omega}(t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}) \cong \omega(\bar{t}_i) = \omega(t_i) \quad (5)$$

onde $v(t_i)$ e $\omega(t_i)$ são as velocidades linear e angular instantâneas no instante t_i .

Essa aproximação é muito boa, porque o intervalo de tempo $t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}$ é muito pequeno. Finalmente, perceba que não é possível calcular velocidades nem para a primeira e nem para a última imagem.

B7. Acrescente à tabela do item **B3** colunas relativas às incertezas das velocidades linear e angular instantâneas. Para realizar as propagações, consulte o “*Roteiro para Cálculo de Incertezas*”, disponível no menu *Guias Auxiliares*.

B8. Construa os gráficos das velocidades linear e angular em função do tempo, $v(t)$ e $\omega(t)$. Não esqueça de incluir nos gráficos as barras de incerteza. No gráfico de $v(t)$, podem ser identificados diferentes regimes. Ajuste uma linha de tendência para cada um deles. Repita o mesmo procedimento para o gráfico de $\omega(t)$.

C) Procedimento de elaboração do relatório

Escreva um relatório para um colega que não conheça nem o experimento nem os procedimentos de análise, mas que possua conhecimentos em Física. Descreva o que foi feito, formule a conclusão e explique como ela foi obtida. Tente ser claro, objetivo e sintético, usando suas próprias palavras. Cada grupo deve entregar um único relatório, com as seguintes seções:

C1. Identificação: liste os nomes dos membros do grupo (ou apenas o seu, se trabalhou individualmente) e identifique o conjunto e grupo de dados analisado.

C2. Introdução: apresente uma introdução resumida contendo a situação física e o objetivo do experimento.

C3. Descrição do Experimento: descreva o arranjo experimental de forma sucinta, não deixando de mencionar os principais dispositivos e componentes utilizados, assim como suas características.

C4. Expectativas Iniciais: registre suas previsões após assistir aos vídeos e refletir sobre o experimento, contemplando minimamente as questões do item **B1**. Eventuais erros nessas previsões ou na esquematização das forças não acarretarão desconto na nota.

C5. Resultados Obtidos: apresente a tabela montada nos itens **B3**, **B5** e **B7** e os gráficos construídos nos itens **B4** e **B8** com as linhas de tendência ajustadas e suas respectivas equações explícitas. Verifique se expressou

os valores das grandezas em unidades apropriadas e com o número adequado de algarismos significativos, bem como se inseriu barras de incerteza em todos os gráficos.

C6. Análise de Dados: explique o comportamento das posições e velocidades plotadas a partir dos elementos possíveis de se avaliar graficamente. Explore o significado dos trechos constantes, crescentes ou decrescentes, dos pontos de máximo ou de mínimo e das mudanças bruscas de tendência dos pontos experimentais, correlacionando-os sempre com uma análise qualitativa do movimento do aro.

C7. Discussão: aprofunde sua análise de dados, tentando responder aos seguintes itens:

- a) Em cada um dos gráficos construídos de posição ou velocidade em função do tempo, que grandezas podem ser obtidas a partir das equações das linhas de tendência ajustadas?
- b) A partir dos gráficos de $v(t)$ e $\omega(t)$, faça uma análise dinâmica do movimento, identificando os diferentes regimes de movimento, os intervalos dentro dos quais podemos identificar a atuação peculiar de uma força e especificando essa força (lembre-se de que força é um vetor!).
- c) Encontre o instante de tempo para qual as velocidades mudam de comportamento, a partir da intersecção das diferentes linhas de tendência traçadas em cada gráfico. O instante em que as linhas se interceptam é similar em ambos os gráficos? Justifique a compatibilidade ou não entre tais instantes.
- d) Você conseguiria elaborar uma expressão que justificasse o comportamento encontrado para as velocidades linear e angular? Para qual intervalo de tempo tal expressão é válida? Com essas expressões seria possível identificar se o rolamento em certo instante é com ou sem escorregamento?

C8. Conclusão: Retome a introdução, atente para o objetivo do experimento e comente se ele foi alcançado plenamente, parcialmente ou não e por quê. *Sugestão:* retome suas hipóteses e indagações registradas no item **C4** e verifique ao longo dos itens **C5**, **C6** e **C7** se o experimento corroborou ou não tais expectativas iniciais.