

## Roteiro do experimento “Rolamento”

### A) Introdução ao experimento

O experimento consiste no lançamento de um aro para frente, mas girando no sentido contrário, de forma que após certo tempo retorna para quem o lançou. Com isso estudaremos o movimento de rolamento de um corpo rígido.

### B) Procedimento de análise

B1. Construa uma tabela contendo os valores de posição linear ( $x_i$ ), posição angular ( $\theta_i$ ) e instantes de tempo ( $t_i$ ) para cada foto  $i$ . Para isso consulte os roteiros auxiliares de “Leitura das Posições Angulares” e “Leitura das Posições Lineares”. Adote  $1\text{ cm}$  e  $0,07\text{ rad}$  para as incertezas nas posições lineares e angulares respectivamente (para maiores informações veja o apêndice no final deste roteiro).

B2. Monte os gráficos de  $x_i$  e  $\theta_i$  em função de  $t_i$  e tente explicar, com os conhecimentos que possui, o comportamento da posição em função do tempo dos pontos experimentais. No gráfico de posição linear podem ser identificados diferentes comportamentos. Ajuste uma linha de tendência a cada um deles. Repita o mesmo procedimento para o gráfico de posição angular. Acrescente as *barras de erro* aos pontos obtidos para elaborar os gráficos.

B3. Com a tabela do item B1, calcule as *velocidades médias* linear e angular para o intervalo de tempo  $[t_{i-1}; t_{i+1}]$ , dadas por:

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

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

onde  $x_i$ ,  $\theta_i$  e  $t_i$  correspondem às grandezas posição, ângulo e tempo, respectivamente, enquanto  $\bar{v}_{[t_{i-1}; t_{i+1}]}$  e  $\bar{\omega}_{[t_{i-1}; t_{i+1}]}$  simbolizam as velocidades linear e angular médias para cada intervalo de tempo  $[t_{i-1}; t_{i+1}]$ .

B4. Como o intervalo  $[t_{i-1}; t_{i+1}]$  é pequeno, supomos<sup>1</sup>

$$\bar{v}_{[t_{i-1}; t_{i+1}]} \cong v(\bar{t}_i), \quad (3)$$

$$\bar{\omega}_{[t_{i-1}; t_{i+1}]} \cong \omega(\bar{t}_i), \quad (4)$$

---

<sup>1</sup> Na verdade, o que estamos fazendo é calcular a derivada da posição em relação ao tempo, de forma numérica, para obter a velocidade. Para maiores informações, consulte o texto “Como calcular numericamente a derivada de uma função” na página “Guias” do site do experimento virtual.

onde  $v(\bar{t}_i)$  e  $\omega(\bar{t}_i)$  correspondem às *velocidades instantâneas* linear e angular, respectivamente, no instante médio  $\bar{t}_i$ , dado por

$$\bar{t}_i = \frac{t_{i+1} + t_{i-1}}{2}. \quad (5)$$

B5. Faça uma tabela contendo os valores de  $v(\bar{t}_i)$ ,  $\omega(\bar{t}_i)$  e  $\bar{t}_i$ , juntamente com as incertezas de  $v(\bar{t}_i)$  e  $\omega(\bar{t}_i)$  (supomos que a incerteza no tempo, tanto em  $t_i$  como em  $\bar{t}_i$  é desprezível). Para o cálculo das incertezas, veja o texto “*Roteiro de cálculo de incertezas*”, na página “*Guias*” do site do experimento virtual.

B6. A partir da tabela do item B5, faça os gráficos referentes às velocidades calculadas, linear e angular, com suas respectivas incertezas, e observe o comportamento de tais grandezas. Fazendo uma análise dinâmica do movimento e identificando setores com diferentes comportamentos no gráfico, em que momento podemos afirmar que existe uma força? Ajuste uma linha de tendência tanto no gráfico de velocidade linear quanto angular para identificar melhor esses setores.

B7. Encontre o instante de tempo em que as velocidades mudam de comportamento, a partir da interseção das linhas de tendência traçadas nos gráficos de velocidade linear e posteriormente naquele de velocidade angular. O tempo onde as duas curvas se interceptam é similar? Elabore uma justificativa para a diferença nos valores dos tempos em que as duas retas se interceptam.

B8. Analisando todos os gráficos construídos, tanto de posição quanto de velocidade, você conseguiria identificar que grandezas poderiam ser obtidas nas regiões onde foram ajustadas linhas de tendência?

B9. Com os conhecimentos que possui, você conseguiria elaborar uma expressão que justificasse o comportamento encontrado para os velocidades de translação e rotação? Em qual intervalo de tempo, representado nos gráficos, essas expressões são válidas? Com essas expressões seria possível identificar quais tipos de movimento de rolamento?

### **C) Procedimento de elaboração de relatório**

Entregue um relatório com os seguintes itens:

C1. *Introdução*: apresente uma introdução resumida contendo o objetivo do experimento.

C2. *Descrição do experimento*: descreva o arranjo experimental de forma sucinta, não deixando de mencionar os principais dispositivos e componentes utilizados assim como suas características.

Ao longo do desenvolvimento do relatório procure responder às seguintes questões:

a) Inicialmente, o aro translada para esquerda ou para a direita? Explique com suas palavras o movimento de translação do aro.

b) Inicialmente, o aro rotaciona no sentido horário ou anti-horário? Ele mantém sempre esse sentido de rotação?

c) Você consegue perceber se em algum momento o aro esteve com velocidade nula? Em caso afirmativo, quando e como você acredita que isso ocorreu?

d) Você consegue identificar condições diferentes durante o movimento do aro? Como seria possível diferenciar cada uma delas?

e) Baseado naquilo que foi observado nos itens a, b e c justifique a existência de alguma força atuante no movimento do aro. Faça um diagrama de corpo livre apontando as forças atuantes no movimento, destacando a direção e sentido das velocidades tanto lineares quanto angulares.

*C3. Análise de dados e resultados obtidos:* apresente os dados brutos extraídos da análise inicial do conjunto de fotos, item B1, os gráficos de posição e velocidade, tanto linear quanto angular, item B2, com as linhas de tendência devidamente traçadas, item B2, e também as respostas dos itens B7, B8 e B9.

*C4. Conclusão:* volte para a introdução e atente para o objetivo do experimento. Escreva a conclusão se perguntando: “a experiência conseguiu atendê-lo? Por quê?”.

*C5. Anexo:* entregue as respostas das questões propostas na seção B e os diagramas feitos no item e).