# Fenômenos Mecânicos

**Experimento 4**
**Femec**

Prof. Diogo B. Almeida

diogo.almeida@ufabc.edu.br

Sala 224, bloco delta, SBC

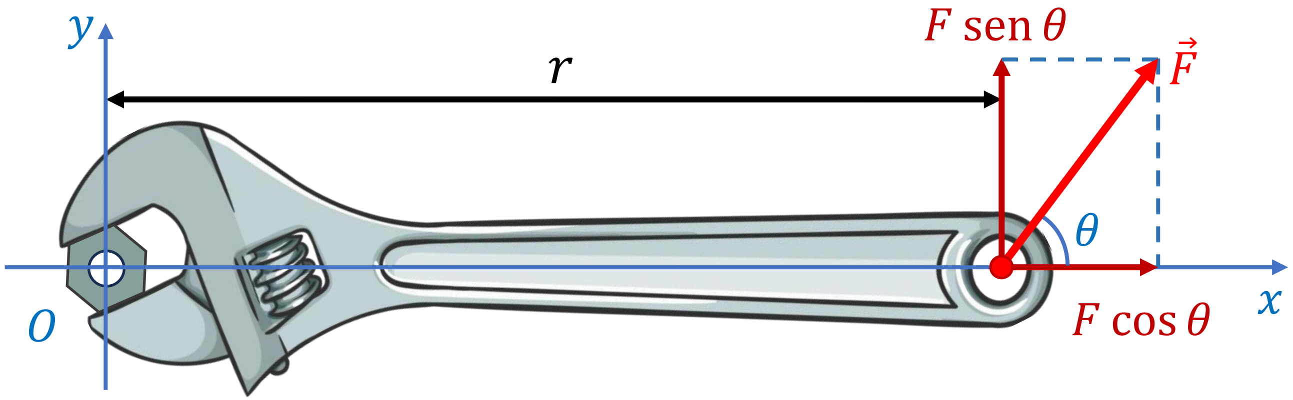
30/10/2023

# Torque

Imaginemos uma situação na qual queremos apertar uma porca usando uma chave inglesa.

- Para apertar ou soltar a porca, precisamos aplicar uma força para gerar um movimento de rotação da porca.
- Vamos analisar a influência da direção e do ponto de aplicação dessa força na geração do movimento de rotação.

Origem no ponto de rotação (pivô)




Decompomos a força nas componentes x e y (radial e tangencial em relação ao pivô):

- A componente radial apenas empurra ou puxa a chave na direção da porca.
- Assim, somente a componente tangencial da força contribui para a rotação.

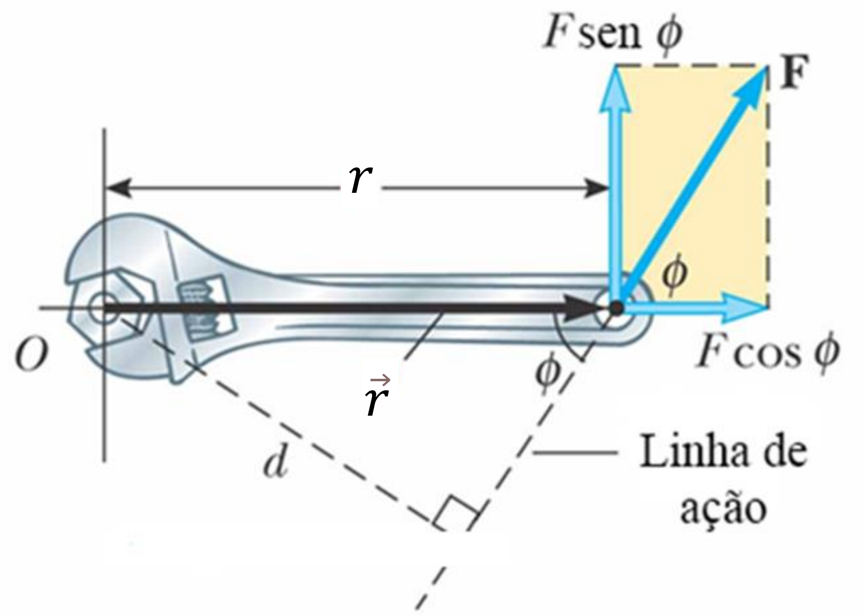
- Aplicando a 2ª lei de Newton, vemos que a força tangencial é proporcional a uma aceleração tangencial ($F_t = ma_t$).
- Lembrando que $a_t = r\alpha$, Notamos que para uma mesma força $F$, quanto maior a distância ($r$) entre o pivô e o ponto de aplicação da força, maior será a mudança no movimento de rotação (aceleração angular $\alpha$).
- No caso limite de $r = 0$, a Força sempre será aplicada diretamente no pivô e não haverá rotação.

# Torque

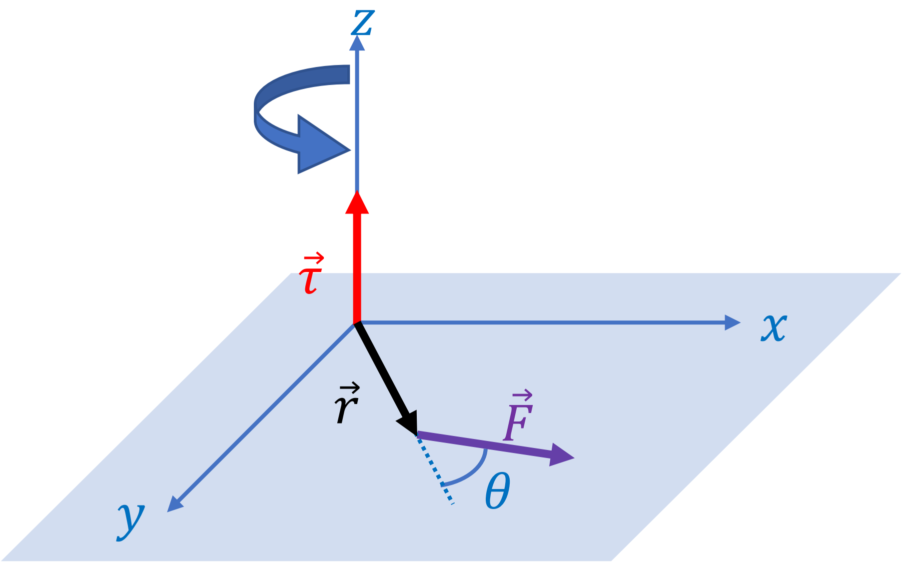
Aplicação de força em um corpo rígido que pode girar ao redor de um eixo, sendo que a força é aplicada a uma distância r do eixo de rotação.

- Se a força for aplicada diretamente no eixo de rotação ($r = 0$), não haverá rotação.
- Apenas a componente tangencial da força (perpendicular à r) contribui para o movimento de rotação.

$$|\vec{\tau}| = |\vec{r}|\left|\vec{F}\right| \operatorname{sen}\phi$$




$$\boxed{\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}}$$



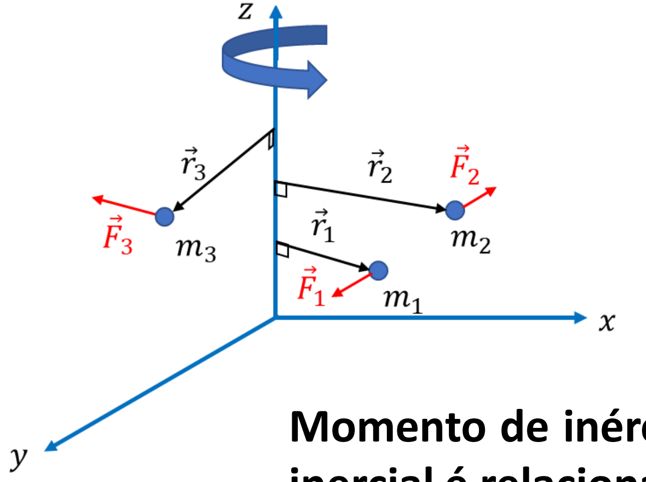

Unidade no SI: $[\tau] = kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = N \cdot m$

# Torque: analogia com a 2ª lei de Newton

Caso de um sistema de partículas

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \Rightarrow \begin{cases} \vec{\tau} = \vec{r} \times m\vec{a} \\ a_t = r\,\alpha \end{cases} \Rightarrow \vec{\tau} = mr(r\vec{\alpha}) = mr^2\alpha$$

Eixo de rotação

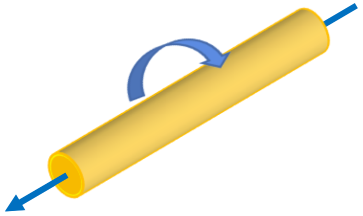



$$\Rightarrow \sum \vec{\tau} = \left(\sum_i m_i r_i^2\right)\vec{\alpha} \Rightarrow \begin{cases} \vec{\tau} = I\vec{\alpha} \\ I \equiv \sum_i m_i r_i^2 \end{cases}$$

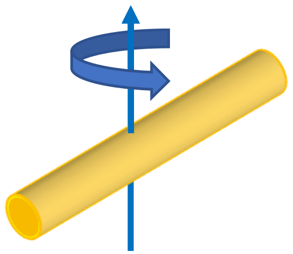
Momento de inércia

**Momento de inércia é relacionado à dificuldade de exercer a rotação no sistema, assim como a massa inercial é relacionada à dificuldade de mudar o padrão de movimento de translação no sistema.**

- A massa é uma propriedade intrínseca ao material. Sempre a mesma, para qualquer referencial inercial.
- O momento de momento de inércia depende da distribuição da massa no espaço (densidade) e em que eixo no espaço realizamos a rotação.



A dificuldade de girar um mesmo objeto (momento de inércia), muda de acordo com a escolha de eixo de rotação



# Corpo rígido sob ação de torque resultante

$$\boxed{\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}}$$

Em corpos rígidos fora das condições de equilíbrio obedecerão à 2ª Lei de Newton e seu análogo rotacional, resultando em uma aceleração linear, aceleração angular, ou as duas ao mesmo tempo.

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\,\vec{a} \quad \Longrightarrow \quad \sum \vec{\tau}_{ext} = I\,\vec{\alpha}$$

Seguindo as analogias com as leis de Newton, podemos achar uma quantidade que, quando derivada no tempo, resultará no torque resultante.

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\frac{d}{dt}\vec{v} \qquad \sum \vec{\tau}_{ext} = I\frac{d}{dt}\vec{\omega}$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) \qquad \sum \vec{\tau}_{ext} = \frac{d}{dt}(I\vec{\omega})$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d}{dt}\vec{p} \qquad \boxed{\sum \vec{\tau}_{ext} = \frac{d}{dt}\vec{L}}$$

# Momento Angular

De modo semelhante ao momento linear, que é uma quantidade de movimento associada à translação do sistema, temos uma quantidade de movimento associada à rotação, o momento angular:

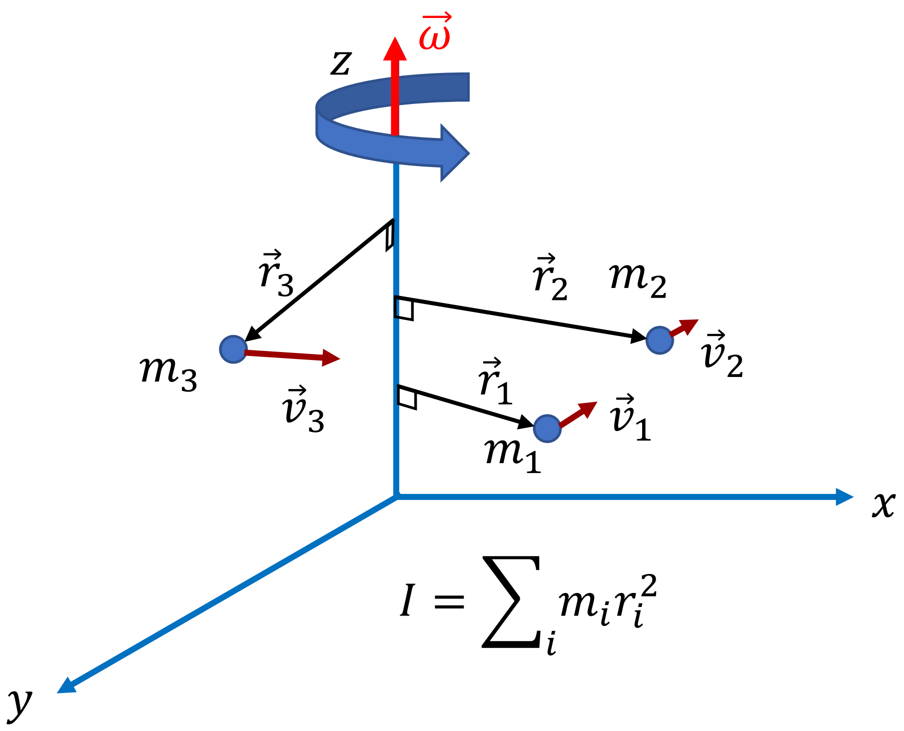
$$\vec{L} \equiv \vec{r} \times \vec{p}$$

$$L = \sum_i r_i\, m_i v_i \quad \Rightarrow \quad L = \sum_i r_i\, m_i (r_i \omega)$$

$$L = \left(\sum_i m_i r_i^2\right) \omega$$

$$L = I\omega$$

Eixo de rotação




$$I = \sum_i m_i r_i^2$$

# Momento Angular na 2ª lei de Newton

$$\sum \vec{\tau} = I\,\vec{\alpha} = I\,\frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

Supondo momento de inércia constante:

$$\sum \vec{\tau} = \frac{d}{dt}(I\vec{\omega}) \quad \Rightarrow \quad \sum \vec{\tau} = \frac{d}{dt}\vec{L}$$

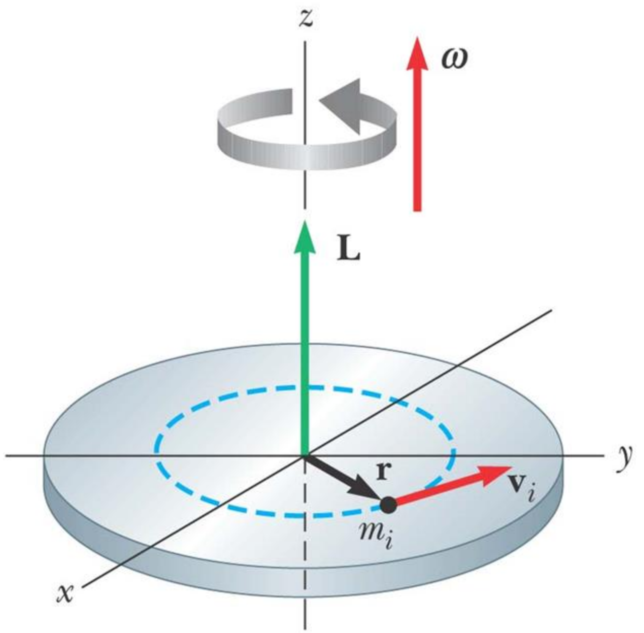
O torque externo resultante num sistema sobre qualquer eixo que passa através de uma origem num referencial inercial é igual à taxa temporal da mudança do momento angular do sistema sobre aquela origem.

Num sistema isolado, não há forças (e, portanto, nem torque) externos: $\sum \vec{\tau} = 0$

$$\frac{d}{dt}\vec{L} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{L} = constante$$

$$\sum \vec{L}_i = \sum \vec{L}_f$$

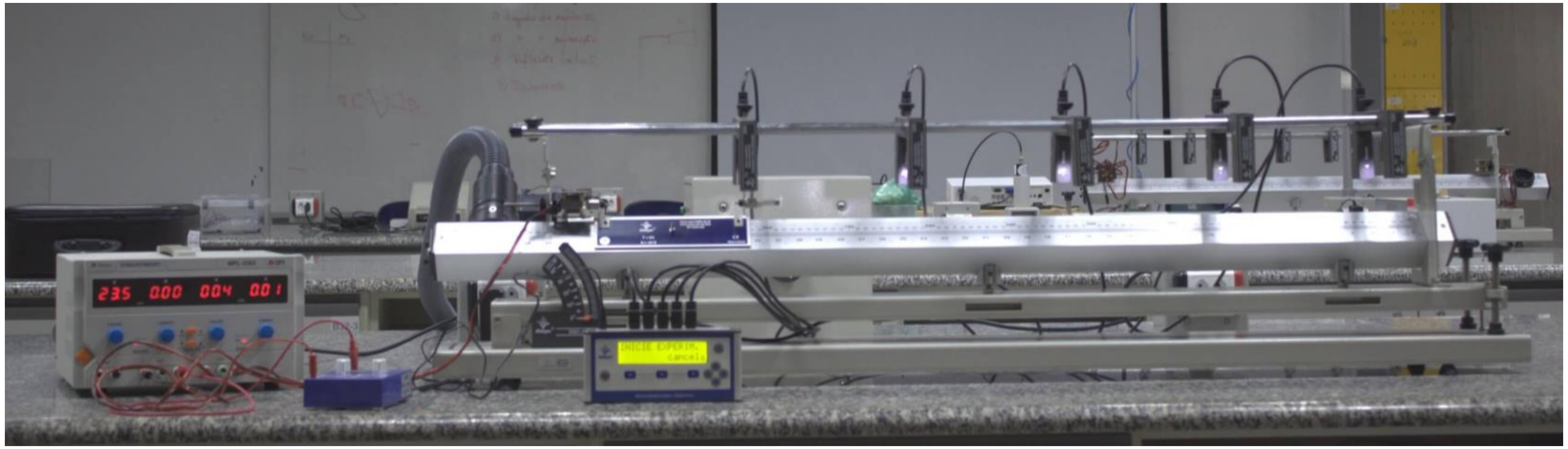
A conservação de momento angular é muito útil em problemas com colisões, com aplicação análoga à conservação de momento linear.



# Cuidados a serem tomados!

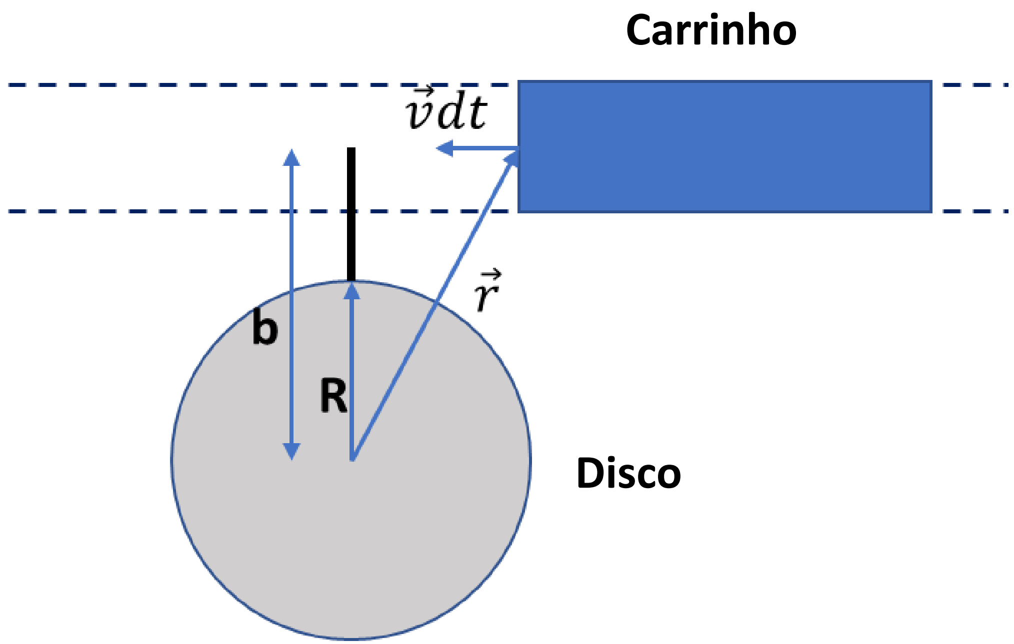
- Para não produzir arranhões na superfície do trilho de ar, nunca movimente os carrinhos sobre o mesmo sem que o gerador de fluxo de ar esteja funcionando.
- Verifique se a pista e a parte inferior do carrinho se encontram bem limpas; caso contrário, limpe-as com um pano úmido.
- Sempre ligue o fluxo de ar na potência mínima e vá aumentando o fluxo aos poucos.
- Tenha cuidado com o equipamento. Uma queda  ou choque de alguns centímetros pode inutilizar o carrinho por completo.

**Trilho de ar**



# Experimento 4: Colisões elástica e inelástica

- Mesmo conjunto experimental do experimento 2 (carrinho mais contrapeso).
- Adicionamos um disco para colidir com o carrinho e gerar um movimento de rotação.
- Vamos calcular o momento angular do sistema antes e depois das colisões para testar a conservação desta quantidade.

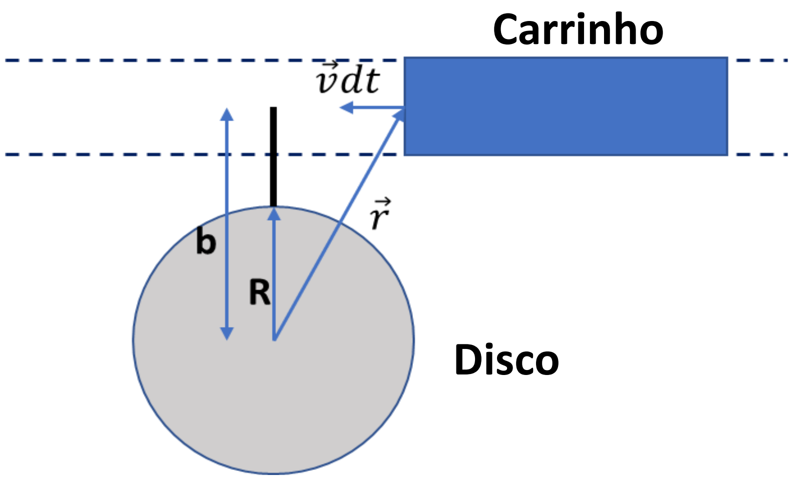



$$L_{i,carro} + L_{i,disco} = L_{f,carro} + L_{f,disco}$$

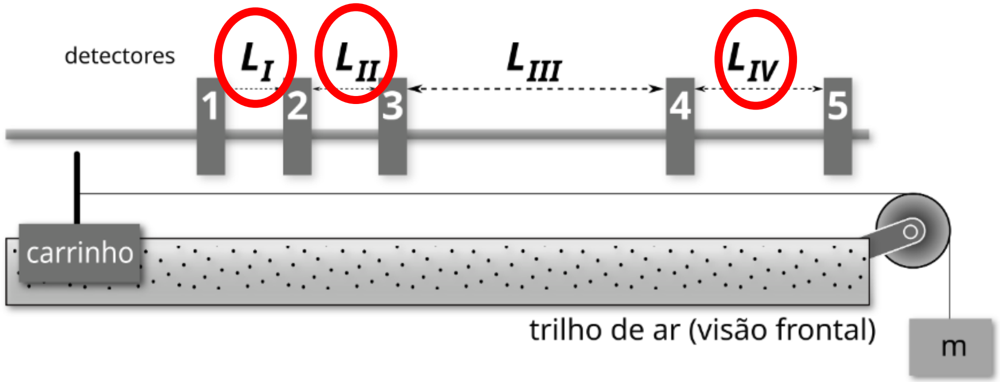
$$m_c\left(v_{i,c}\, b\right) + 0 = m_c\left(v_{f,c}\, b\right) + \left(\frac{1}{2} m_d R^2\right)\omega$$

# Procedimento experimental

## Etapa 1 – Sem colisão



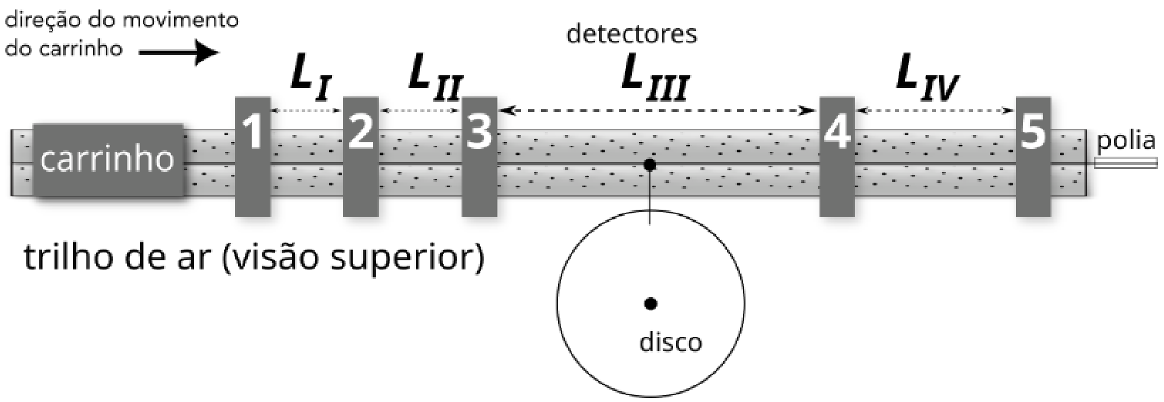

- Medir 3 vezes as distâncias $L_I$, $L_{II}$ e $L_{IV}$ entre os fotodetectores:
  - Medida 1: distância centro a centro de cada módulo;
  - Medida 2: distância entre seus extremos mais distantes;
  - Medida 3: distância entre seus extremos mais próximos.

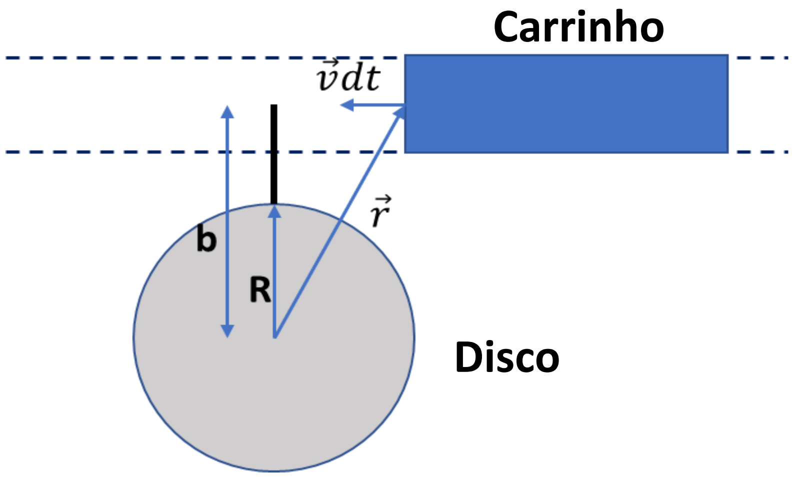



- Meça a massa do carrinho.
- Meça a massa, raio (R) e parâmetro de impacto (b) do disco.
- Solte sempre o carrinho da mesma posição, anotando **TODOS** os intervalos de tempo.
- Repita o procedimento mais duas vezes.

# Procedimento experimental

## Etapa 2 – Com colisão




- Ajuste o Disco de modo que a colisão sempre ocorra no intervalo $L_{III}$, e que a antena do carrinho toque a extremidade da haste do disco (parâmetro de impacto).

- Para medir a velocidade de rotação do disco, posicione um celular com cronômetro perto do disco e um celular com câmera sobre o disco, de modo que seja possível filmar simultaneamente o disco rodando e o cronômetro do segundo celular. Filme os disco girando por algumas rotações, dividindo o tempo encontrado pelo número de rotações completas filmadas.

- Solte sempre o carrinho da mesma posição, anotando **TODOS** os intervalos de tempo.

- Repita o procedimento mais duas vezes.