



# LADIF

## ROTEIRO DA EXPERIÊNCIA

# UFRJ

# IF

Disciplina: Mecânica Clássica

Tema : Referenciais não inerciais, Força de Coriolis

Código : **1E-03** Nome : **Basquete giratório**

Onde encontrar : Hall do 4° andar

**Potencialidade : perceber o fenômeno de forças virtuais em referenciais não inerciais.**

**Palavras Chaves : Referenciais não inerciais; Referenciais girantes; Força de Coriolis.**

**Ref. Bibliográficas : "Mecânica Analítica" - Lemos; "Classical Dynamics of Particles and Systems" - Marion & Thornton**

## Roteiro da experiência

### Material Utilizado:

- Cadeira e cesta acopladas a uma haste girante, presas a uma base fixa no chão.
- Bola de basquete

### Montagem:

Uma pessoa senta na cadeira e a outra gira o aparato. A pessoa tenta acertar a cesta enquanto gira.

### Explicação:

Seja um sistema inercial  $Ref\ O x_1 x_2 x_3$  e um sistema não inercial  $Ref'\ O' x_1' x_2' x_3'$ , separados por  $\mathbf{h}$ . Seja  $\mathbf{r}$  o vetor posição de de uma partícula em  $Ref$  e  $\mathbf{r}'$  o vetor posição dessa mesma partícula em  $Ref'$ .

Assim, temos que:

$$\mathbf{r} = \mathbf{h} + \mathbf{r}' \quad (1)$$

O movimento mais geral possível de  $Ref'$  em relação a  $Ref$  é uma translação mais uma rotação  $\mathbf{w}$ . Tomando uma derivada temporal em  $Ref$ , e sabendo que:

$$\mathbf{v} = d\mathbf{h}/dt + \mathbf{v}' + \mathbf{w} \times \mathbf{r}' \quad (2)$$

temos:

$$d\mathbf{r}/dt = d\mathbf{h}/dt + d\mathbf{r}'/dt = d\mathbf{h}/dt + d'\mathbf{r}'/dt + \mathbf{w} \times \mathbf{r}' \quad (3)$$

Tomando mais uma derivada e multiplicando pela massa, obtemos:

$$\mathbf{F} = m(\mathbf{a}' + d^2\mathbf{h}/dt^2 + \mathbf{w} \times (\mathbf{w} \times \mathbf{r}') + 2\mathbf{w} \times \mathbf{v}' + d\mathbf{w}/dt \times \mathbf{r}'). \quad (4)$$

Rearranjando:

$$m\mathbf{a}' = \mathbf{F} - m(d^2\mathbf{h}/dt^2 + \mathbf{w} \times (\mathbf{w} \times \mathbf{r}') + 2\mathbf{w} \times \mathbf{v}' + d\mathbf{w}/dt \times \mathbf{r}') \quad (5)$$

que é a equação de movimento da partícula no referencial não inercial. Os termos à direita de  $\mathbf{F}$  são chamados de forças virtuais. Não são forças de fato mas aparecem como uma força quando a equação de movimento é escrita no referencial não inercial. Cada termo tem uma denominação:

- -  $m d^2 \mathbf{h} / dt^2$  é a chamada força de Einstein, decorre da aceleração linear de  $Ref'$  em relação a  $Ref$ .
- -  $m \mathbf{w} \times (\mathbf{w} \times \mathbf{r}) = m \mathbf{w}^2 (\mathbf{r}_{\text{perp}})$  é a chamada força centrífuga, já que aponta para fora do eixo de rotação
- -  $2m \mathbf{w} \times \mathbf{v}'$  é a chamada força de Coriolis. Esse termo existe quando a partícula possui uma certa velocidade em relação a  $Ref'$  e essa velocidade não é paralela à velocidade angular do referencial.
- -  $m d\mathbf{w} / dt \times \mathbf{r}'$  é a chamada força de Euler e existe quando a taxa de variação temporal da velocidade angular de rotação não é nula.

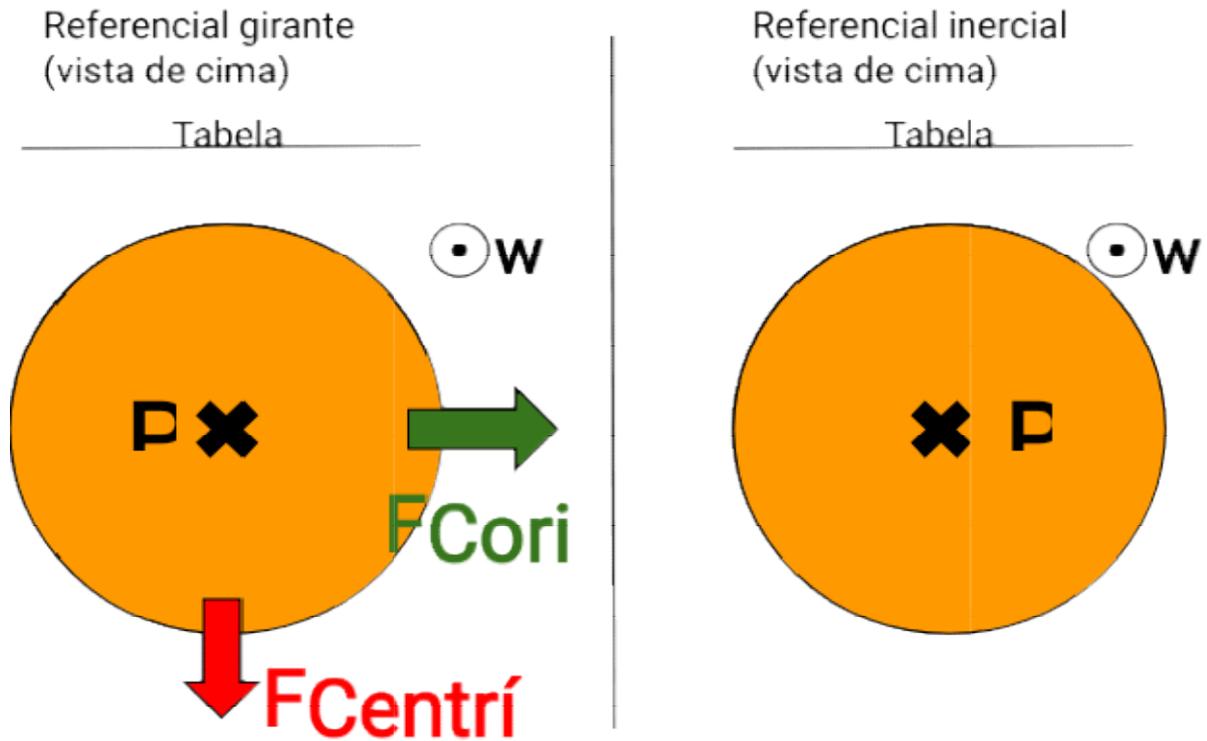
No nosso problema específico, consideramos um referencial preso ao chão, portanto inercial, e outro preso à cadeira, que gira. A força de Einstein é nula, e a de Euler é também, em primeira aproximação (consideramos  $\mathbf{w}$  constante no curto período em que se dá o experimento). A força centrífuga pode ser percebida ao girar pois tanto o arremessador quanto a bola são empurrados contra a cadeira. A força centrífuga está no plano formado pela haste e o eixo de rotação. Logo, não é relevante para o efeito que queremos observar, que é perpendicular a esse plano. Assim, o efeito principal observado é o decorrente da força de Coriolis: a bola é dotada de uma certa velocidade  $\mathbf{v}'$  em relação ao referencial não inercial;

- supondo um  $\mathbf{w}$  que aponta para o teto: o termo de Coriolis causa um desvio da bola para a direita do arremessador;
- supondo  $\mathbf{w}$  que aponta para o chão: o termo de Coriolis causa um desvio da bola para a esquerda do arremessador;

No referencial preso ao solo, a trajetória é parabólica, em duas dimensões, já que só a força peso para baixo age sobre a bola, com era de se esperar. Já no referencial girante, há uma segunda força, responsável por deslocar a bola na horizontal.

Para corrigir esse efeito e acertar a cesta, é necessário deslocar o arremesso para o lado oposto da força.

A imagem abaixo representa um esquema das forças vistas em cada referencial.



A força de Coriolis pode ser facilmente observada em fenômenos meteorológicos como nos furacões, nos quais as massas de ar são deslocadas lateralmente para o continente ao serem formadas no oceano. Isso se dá, pois a Terra está girando, e não configura, portanto, um referencial inercial.

Outro exemplo é o pêndulo de Foucault, um pêndulo de comprimento da ordem de dezenas de metros. Quando posto para oscilar, os efeitos da força de Coriolis não podem mais ser negligenciados devido ao longo comprimento, e o movimento não se dá mais em duas dimensões.