Capítulo 4

Leis de Newton

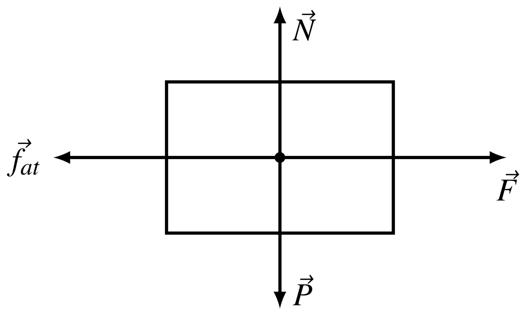
Paula Ferreira: psfer@pos.if.ufrj.br

4.1. Forças de atrito

Força de contato tangencial à superfície de contato.

4.1.1. Modelo de atrito de Coulomb

Força de oposição ao movimento relativo às forças de duas superfícies em contato. A palavra seco caracteriza as propriedades da superfície (aspereza).



Considere uma força $\vec{F}$ atuando sobre um bloco numa superfície com atrito. $|\vec{F}|$ aumentando a partir do zero, não faz bloco se mover a menos que F atinja um valor crítico[1] (f_e).

$$\vec{f}_{at} = -\vec{F} \text{ para } |\vec{F}| < f_e \tag{1}$$

$\vec{f}_{at}$ se ajusta instantaneamente para equilibrar $\vec{F}$.

4.1.2. Leis do atrito

- A força de atrito máxima f_e é:

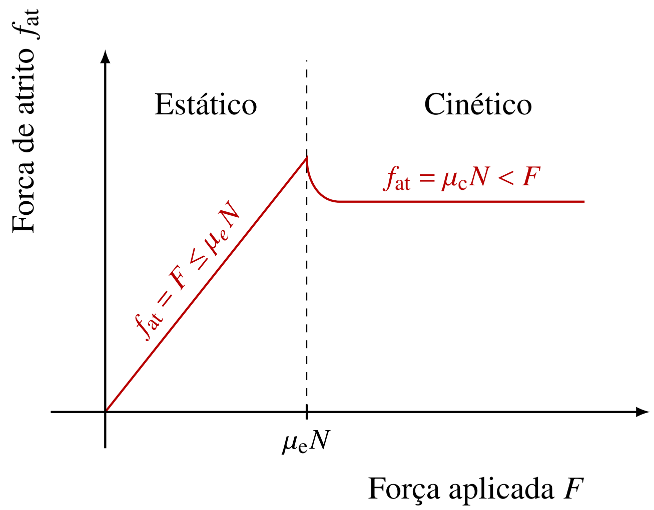
[1] crítico: no limite entre ficar parado e se movimentar.

$$|\vec{f}_{at}|_{max} = f_e \leq \mu_e |\vec{N}| \tag{2}$$

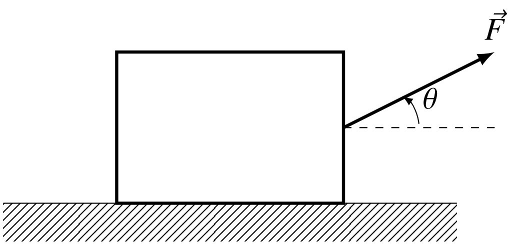
- μ_e se chama coeficiente de atrito estático.
- f_e não depende da área de contato.

Quando $F > f_e$, a força de atrito diminui. Temos então, a força de atrito cinética $(\vec{f_c})^2$:

$$f_c = \mu_c N < F \tag{3}$$
$$\mu_c < \mu_e \tag{4}$$



4.1.3. Exemplo Moysés 5.3



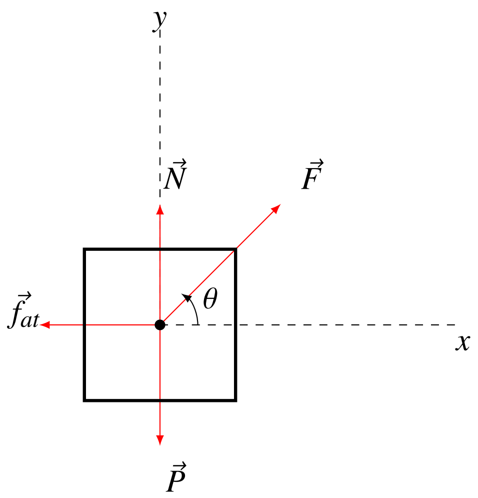
Se μ_e é o coeficiente de atrito estático e P o peso do bloco, para que valor de F ele começará a escorregar?

- Considerando que um bloco está num referencial inercial.
- 1ª Lei de Newton é aplicável.

[2] Veja a figura 5.19 do Young & Freedman!

- Conheço: P, μ_e e θ.

Diagrama de forças:



$$\sum_i \vec{F}_i = 0$$
$$\vec{N} + \vec{F} + \vec{f}_{at} + \vec{P} = 0$$
$$N\hat{\mathbf{j}} + F(\cos\theta\hat{\mathbf{i}} + \sin\theta\hat{\mathbf{j}}) + \vec{f}_{at} - P\hat{\mathbf{j}} = 0$$

Eixo x:

$$F\cos\theta - f_{at} = 0 \tag{5}$$
$$F\cos\theta - \mu_e N = 0 \tag{6}$$

Eixo y:

$$F\sin\theta - P + N = 0 \tag{7}$$
$$N = P - F\sin\theta \tag{8}$$

(8) $\rightarrow$ (6):

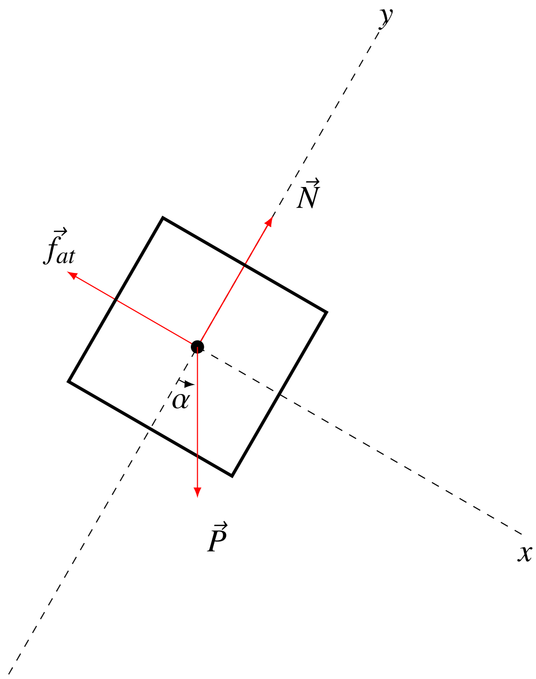
$$F\cos\theta - \mu_e(P - F\sin\theta) = 0$$
$$F\cos\theta + F\mu_e\sin\theta = \mu_e P$$
$$F(\cos\theta + \mu_e\sin\theta) = \mu_e P$$
$$\therefore F = \frac{\mu_e P}{\cos\theta + \mu_e\sin\theta}$$

4.1.3.1. Exemplo 5.17 Young & Freedman

Pessoas de massa m descendo aceleradas de um tobogã com coeficiente de atrito cinético μ_c.

- Considerando que as pessoas estão num referencial inercial.
- 2ª Lei de Newton é aplicável.
- Conheço:$\vec{g}$, m, μ_c e α.

Diagrama de forças:



$$\sum_i \vec{F}_i = m\vec{a} \tag{9}$$

$$\vec{f}_c + \vec{N} + \vec{P} = m\vec{a} \tag{10}$$

$$-f_c\hat{\mathbf{i}} + N\hat{\mathbf{j}} + mg(\sin\alpha\hat{\mathbf{i}} - \cos\alpha\hat{\mathbf{j}}) = ma\hat{\mathbf{i}} \tag{11}$$

Eixo x:

$$mg\sin\alpha - f_c = ma \tag{12}$$

$$mg\sin\alpha - \mu_c N = ma \tag{13}$$

Eixo y:

$$N - mg\cos\alpha = 0 \tag{14}$$

$$N = mg\cos\alpha \tag{15}$$

(15) → (13)

$$a = g(\sin\alpha - \mu_c \cos\alpha) \tag{16}$$
$$\therefore \vec{a} = g(\sin\alpha - \mu_c \cos\alpha)\hat{\mathbf{i}} \tag{17}$$

$\alpha = 90^o$, $a = g$

Quanto é μ_c se as pessoas descem com velocidade constante?

$$a = 0 \tag{18}$$
$$\sin\alpha = \mu_c \cos\alpha \tag{19}$$
$$\therefore \mu_c = \tan\alpha \tag{20}$$

Referências

[1] Herch Moysés Nussenzveig. *Curso de fisica básica: Mecânica (vol. 1)*. Vol. 394. Editora Blucher, 2013.

[2] Hugh D Young, A Lewis Ford e Roger A Freedman. *Fısica I Mecânica.* 2008.