

# Física

Licenciatura em Engenharia Informática

Susana Sério

Aula 05

## Forças de Atrito

Quando um corpo está em movimento assente numa superfície ou num meio viscoso, surge uma **força de resistência ao movimento**;

Esta força resulta das interações do corpo com o que o rodeia;

A esta força dá-se o nome de ***força de atrito***.

# Forças de Atrito entre duas superfícies em contacto

O módulo da força de atrito é proporcional ao módulo da força normal:

$$f_e \leq \mu_e n \quad \text{e} \quad f_c = \mu_c n$$

Estas equações não são vectoriais, porque relacionam apenas os módulos das forças.

A força de **atrito estático**,  $f_e$ , que ocorre *quando não há movimento relativo* do corpo em relação ao meio que o rodeia é, em geral, maior, em módulo, do que a **força de atrito cinético**,  $f_c$ , que ocorre *quando há movimento relativo*;

O coeficiente de atrito,  $\mu$ , depende das superfícies em contacto.

## Forças de Atrito

- ✓ A **força de atrito** tem a **direcção do movimento** e o sentido **oposto**;
- ✓ É paralela às superfícies em contacto;
- ✓ Os coeficientes de atrito são independentes das áreas de contacto.

## Atrito Estático

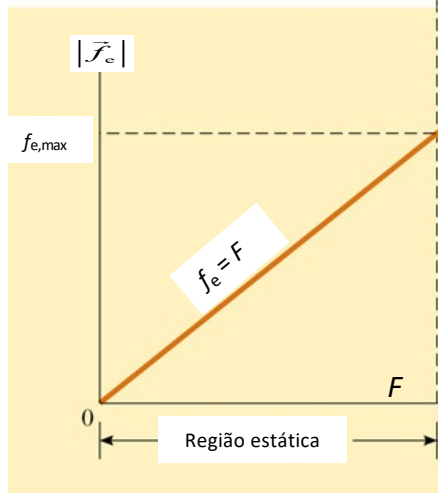
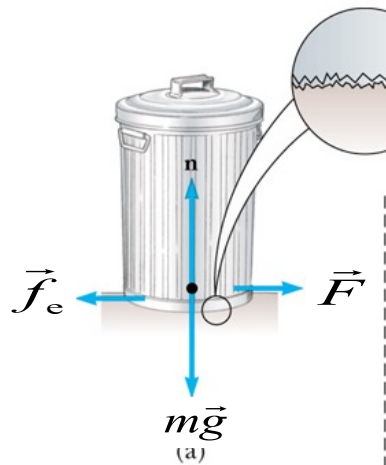
A força de atrito estático actua de forma a impedir que ocorra o movimento;

Se o módulo de  $\vec{F}$  diminui, o módulo de  $\vec{f}_e$  diminui;

Se o módulo de  $\vec{F}$  aumenta, o módulo de  $\vec{f}_e$  aumenta, até atingir um valor máximo:

$$f_{e \max} = \mu_e n$$

De uma forma geral  $f_e \leq \mu_e n$ . A igualdade ocorre quando o movimento relativo está na iminência de iniciar-se.

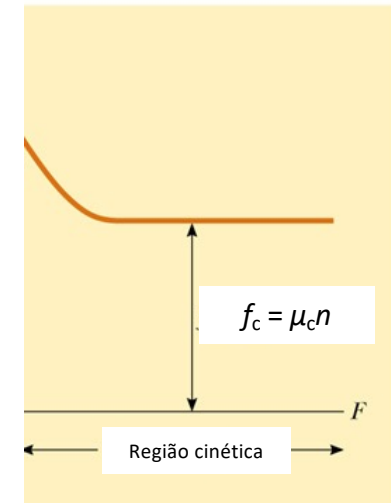
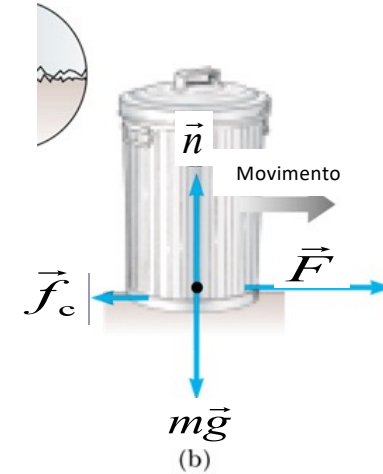


## Atrito cinético

A força de atrito cinético actua quando o corpo está em movimento;

Ainda que  $\mu_c$  possa, em geral, variar com o módulo da velocidade, vamos desprezar essas variações e considerar:

$$f_c = \mu_c n$$



## Alguns coeficientes de Atrito

| Coeficientes de atrito           |          |         |
|----------------------------------|----------|---------|
|                                  | $\mu_e$  | $\mu_c$ |
| Aço com aço                      | 0.74     | 0.57    |
| Alumínio com aço                 | 0.61     | 0.47    |
| Cobre com aço                    | 0.53     | 0.36    |
| Borracha com cimento             | 1.0      | 0.8     |
| Madeira com madeira              | 0.25-0.5 | 0.2     |
| Vidro com vidro                  | 0.94     | 0.4     |
| Madeira encerada com neve húmida | 0.14     | 0.1     |
| Madeira encerada com neve seca   | –        | 0.04    |
| Metal com metal (lubrificado)    | 0.15     | 0.06    |
| Gelo com gelo                    | 0.1      | 0.03    |
| Teflon com teflon                | 0.04     | 0.04    |
| Juntas sinoviais no corpo humano | 0.01     | 0.003   |

Todos os valores são aproximados.

Em alguns casos, o coeficiente de atrito pode ser superior a 1.0

# Movimento com atrito

Origem da força de atrito?

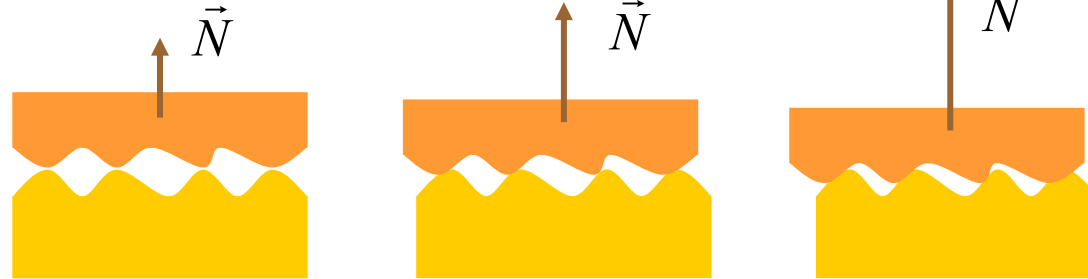


Forças intermoleculares superficiais

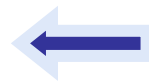
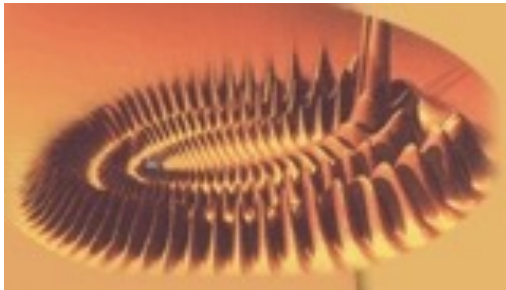
Não deveria depender da área de contacto?



Depende da área de contacto real



À medida que  $N$  aumenta, aumenta a superfície de contacto.



Exemplo de uma superfície real vista com microscópio de forças atómicas



## O Atrito em Problemas de Dinâmica

- ✓ O atrito é uma força, consequentemente é incluído no somatório das forças,  $\sum \vec{F}$ , que surge na aplicação das leis de Newton;
- ✓ As regras do atrito permitem-nos identificar a direcção, sentido e módulo das forças de atrito.

## Atrito – Exemplo 1

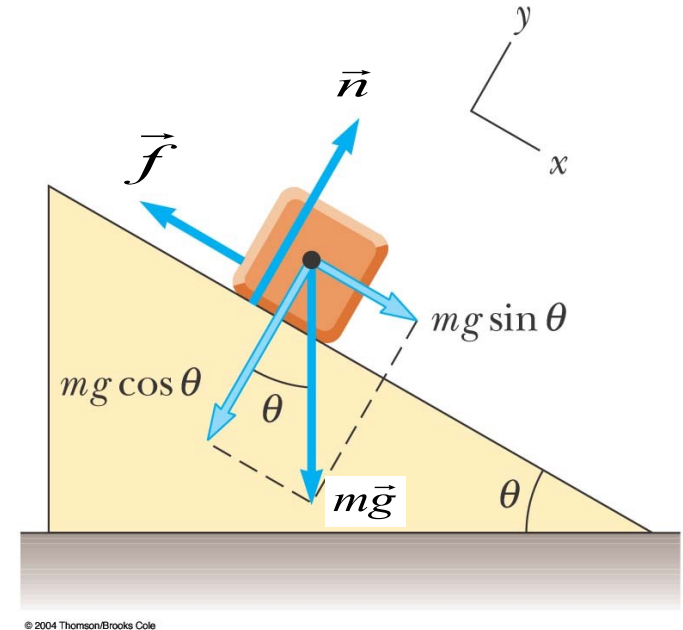
O bloco está a escorregar ao longo do plano inclinado, conseqüentemente a direcção da força de atrito é paralela ao plano e o sentido é para cima;

Esta montagem pode ser utilizada para determinar experimentalmente o coeficiente de atrito:

$$\mu = \tan \theta$$

Para obter  $\mu_e$ , utiliza-se o ângulo em que o escorregamento se inicia;

Para obter  $\mu_c$ , utiliza-se o ângulo segundo o qual o bloco escorrega com velocidade constante.



## Atrito – Exemplo 1

1) Desenhemos o diagrama das forças aplicadas ao bloco;

2) Aplicamos a 2.ª lei de Newton ao bloco:

$$\vec{f}_c + \vec{n} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

3) Escolhemos o sistema de eixos (por exemplo, o da figura);

4) Escrevemos as equações escalares correspondentes às componentes, no sistema de eixos escolhido, dos vectores que surgem na equação anterior:

$$x: -f_c + mg \sin \theta = ma$$

$$y: n - mg \cos \theta = 0$$

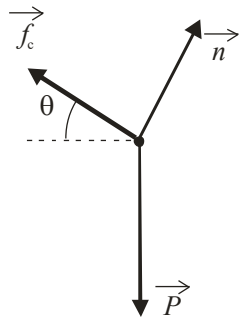
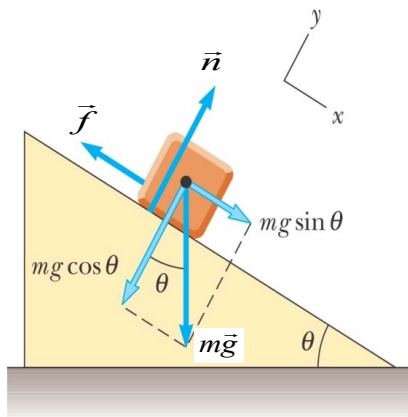
5) Acrescentamos a equação que relaciona o módulo da força de atrito com o módulo da força (normal ao plano inclinado):

$$f_c = \mu_c n$$

6) Resolvemos o sistema de três equações a três incógnitas para obter o módulo da aceleração:

$$\begin{aligned} a &= -\frac{f_c}{m} + g \sin \theta = -\mu_c g \cos \theta + g \sin \theta = \\ &= g(\sin \theta - \mu_c \cos \theta) \end{aligned}$$

7) Como a direcção e sentido da aceleração são os do eixo dos  $x$ , a aceleração do bloco é  $\vec{a} = g(\sin \theta - \mu_c \cos \theta)\vec{i}$

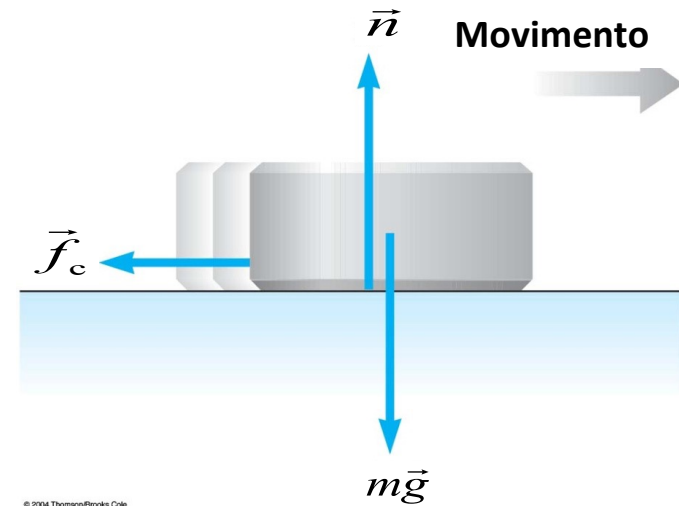


## Atrito – Exemplo 2

Desenhamos o diagrama das forças aplicadas ao corpo, incluindo a **força de atrito cinético**:

O sentido é oposto ao do movimento;

A direcção é paralela às superfícies em contacto.



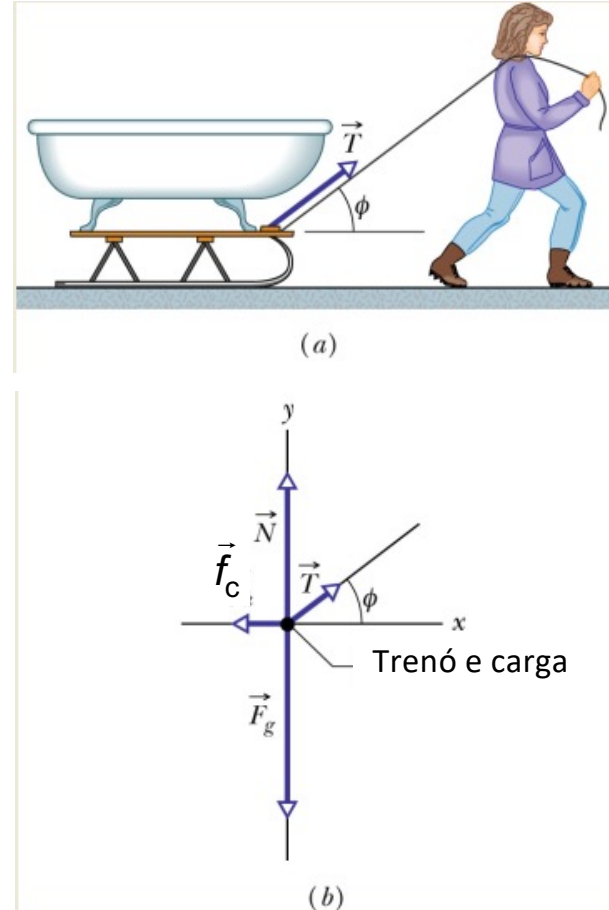
Resolvemos o problema da forma habitual para a aplicação das leis de Newton.

## Atrito – Exemplo 3

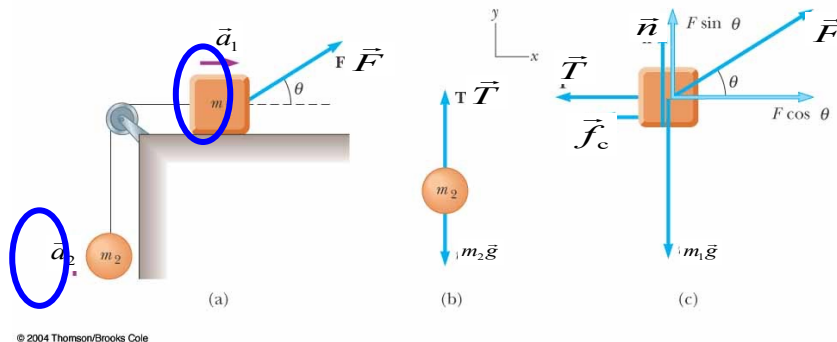
A força de atrito opõe-se ao movimento;

Desenhamos o diagrama de forças;

Aplicamos as leis de Newton como em qualquer outro problema.



## Atrito – Exemplo 4



- ✓ A força de atrito actua apenas no corpo que está em contacto com outra superfície;
- ✓ Isolamos os corpos;
- ✓ Desenhamos os diagramas de forças;
- ✓ Aplicamos as leis de Newton como em qualquer outro problema com muitos corpos.