



1. **Objetivos**

Identificar os fatores de que depende o coeficiente de atrito estático.
Calcular o coeficiente de atrito estático pelo método dos mínimos quadrados.

2. **Introdução**

Quando um corpo desliza sobre outro, as forças que se opõem ao movimento são chamadas forças de atrito. Pode suceder que um corpo esteja em repouso e no entanto haja forças de atrito. É o que acontece quando aplicamos uma força a um corpo e este não se movimenta. Distingue-se força de atrito estático, onde existem forças aplicadas mas os corpos estão parados uns em relação aos outros, das forças de atrito cinético, onde os corpos estão em movimento uns em relação os outros.

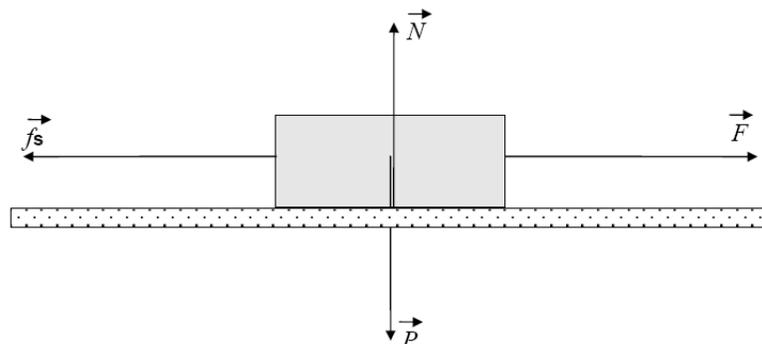


Figura 1 - Forças aplicadas a um bloco em repouso.

Considere um bloco de madeira paralelepípedo, assente sobre uma placa de madeira (figura 1). Aplica-se a esse corpo uma força horizontal com valor crescente (F). Verifica-se que a força de atrito estático (f_s) aumenta com a força aplicada até que o bloco começa a mover-se para uma dada força aplicada. Nesta situação limite, o módulo da força aplicada é igual ao módulo da força de atrito estático máxima ($f_{s,max} = F$). A força de atrito máxima é diretamente proporcional à reação normal

$$f_{s,max} = \mu_s N \quad (1)$$

onde o coeficiente de proporcionalidade μ_e é o coeficiente de atrito estático.

Depois do bloco entrar em movimento, a força de atrito passa a designar-se por força de atrito cinético, f_k , e o seu valor é inferior ao da força de atrito estático. A força de atrito cinético é também diretamente proporcional à reação normal (N).

$$f_k = \mu_k N \quad (2)$$

onde o coeficiente de proporcionalidade μ_k é o coeficiente de atrito cinético.

Os coeficientes μ_s e μ_k são adimensionais e de um modo geral $\mu_s > \mu_k$. Os valores reais dependem da natureza das superfícies em contacto. A reação normal é igual, em módulo, ao peso do bloco, $N = mg$. Assim, usando a equação (1) obtemos

$$F = \mu_s m g \quad (3)$$

Na figura 2, considera-se a título de exemplo o arrastar de um caixote de lixo pelo chão. A força de atrito f entre o caixote do lixo e uma superfície rugosa tem o sentido oposto ao da força aplicada F . Uma vez que ambas as superfícies são rugosas, o contacto é feito só em apenas alguns pontos, como é ilustrado na vista ampliada.

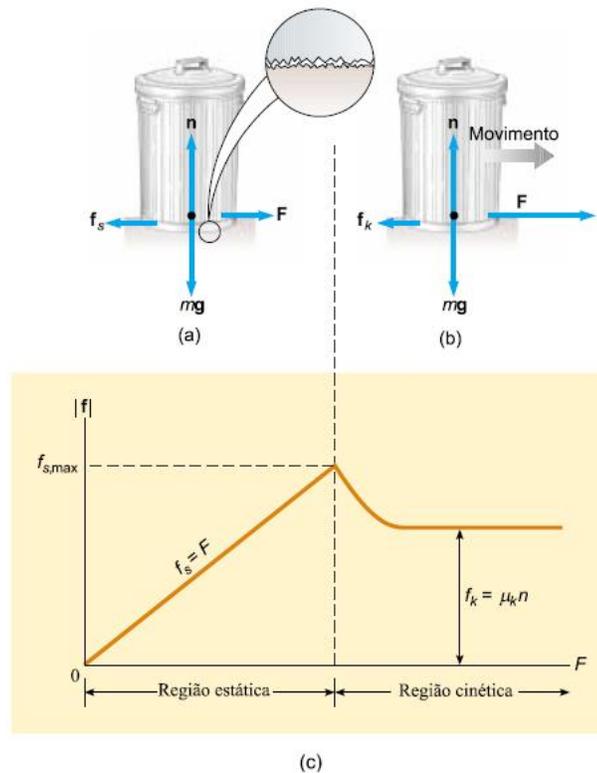


Figura 2 - (a) Para forças aplicadas pequenas, o módulo da força de atrito estático é igual ao módulo da força aplicada. (b) Quando o módulo da força aplicada excede o módulo da força de atrito estático máxima, o caixote do lixo inicia o movimento. a força aplicada é agora maior do que a força de atrito cinético e o caixote pode acelerar para a direita. (c) Um gráfico da força de atrito versus a força aplicada. Note que $f_{s,max} > f_k$.

3. Material

- Dinamómetro digital
- Placa de madeira.
- Blocos de madeira paralelepípedicos com faces revestidas de diferentes materiais.
- Massas.
- Balança.

4. Procedimento

Experiência 1 – Diferentes áreas de contacto.

1. Selecione um bloco com faces do mesmo material.
2. Coloque uma face (por exemplo, área maior) do bloco de madeira sobre a placa.
3. Verifique o zero do dinamómetro.
4. Segure o bloco ao dinamómetro.
5. Puxe muito lentamente o dinamómetro até que o bloco se mova. O valor lido deve ser aquele observado imediatamente antes do movimento (figura 3).
6. Repita várias vezes e registe os valores da força.
7. Mude de face (área menor) e coloque o bloco de madeira sobre a placa.
8. Repita o procedimento anterior de 4 a 6.



Figura 3 – Realização experimental. Bloco assente na área maior.

Experiência 2 – Materiais diferentes

1. Selecione o bloco com uma face revestida com diferente material.
2. Pese o bloco numa balança.
3. Coloque a face de madeira sobre a placa.
4. Verifique o zero do dinamómetro.
5. Segure o bloco ao dinamómetro na horizontal.
6. Puxe muito lentamente o dinamómetro até que o bloco se mova. O valor lido deve ser aquele observado imediatamente antes do movimento (figura 4).
7. Repita várias vezes e registe os valores da força.
8. Adicione uma massa ao bloco.
9. Repita o procedimento anterior de 6 a 8 de modo a variar a massa (6 valores diferentes).
10. Coloque a face revestida sobre a placa.
11. Repita o procedimento anterior 6 e 8 de modo a variar a massa (6 valores diferentes).



Figura 4 – Realização experimental. Conjunto bloco-massa.

5. Tratamento de dados experimentais

Organize os dados experimentais em tabelas sempre com os respectivos erros e unidades.

Experiência 1 – Diferentes áreas de contacto.

1. Identifique a variável independente e a dependente.
2. Compare os valores da força em função da área.
3. O coeficiente de atrito depende da área de contacto?

Experiência 2 – Materiais diferentes

1. Usando o método dos mínimos quadrados (MMQ), como é que pode calcular o coeficiente de atrito estático?
 - Identifique a variável independente e a dependente.
 - Linearização: traduza na forma $y = a_0 + a_1 x$.
2. Insira os dados na folha do excel MMQ (não se esqueça dos erros associados e unidades).
3. Inspeccione o gráfico e verifique se há pontos experimentais que possam ser considerados duvidosos.
4. Escreva o resultado dos coeficientes do MMQ: $a_0 \pm \mu_{a0}$ e $a_1 \pm \mu_{a1}$
5. Identifique o valor do coeficiente de atrito estático e respetivo erro.
6. Responda às seguintes questões:
 1. O coeficiente de atrito depende do peso?
 2. O coeficiente de atrito depende do tipo de superfície?