

## TRABALHO PRÁTICO Nº 1

## MEDIDAS DE COEFICIENTES DE ATRITO

**Objectivo** - Determinação do coeficiente de atrito estático entre duas superfícies em contacto.

## 1. Introdução

Na Figura 1, o objecto A está parado, em contacto com a superfície B. Como sabemos, o objecto A está sujeito à força do seu próprio peso,  $\vec{P}$ , e à força que a superfície em que assenta exerce sobre ele, a normal  $\vec{N}$ . Esta última força é sempre perpendicular à superfície e o seu módulo depende do módulo da força que o objecto exerce sobre ela. Assim,  $|\vec{N}| = |\vec{P}|$  na situação descrita na figura 1 e  $|\vec{N}| = |\vec{P}_n| = |\vec{P}| \cos \theta$  na situação ilustrada na figura 2.

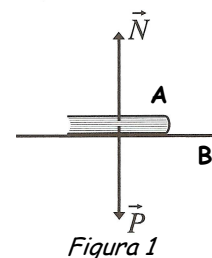


Figura 1

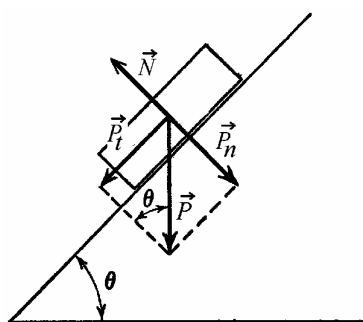


Figura 2

Suponhamos agora que exercemos uma força  $\vec{F}$ , horizontal, sobre o objecto A (Figura 3), de forma a tentarmos pô-lo em movimento. Se começarmos com uma força pouco intensa, o objecto continuará sem se mover, o que significa que a resultante das forças a ele aplicadas ainda é zero. Isso indica-nos que existe uma 4ª força, de intensidade e direcção igual à força aplicada  $\vec{F}$  mas de sentido contrário, que a contabalança. Trata-se, como sabemos, da força de atrito de deslizamento, que designaremos por  $\vec{F}_a$  (Figura 3). Se formos aumentando gradualmente a intensidade da força  $\vec{F}$ , a certa

altura conseguimos que o objecto se desloque. A força  $\vec{F}$  conseguiu vencer a força de atrito  $\vec{F}_a$ .

Como sabemos, há dois tipos de forças de atrito de deslizamento: a força de atrito estático,  $\vec{F}_a^e$ , que se manifesta até se iniciar o movimento e cujo módulo varia desde zero até um valor máximo, e a força de atrito cinético,  $\vec{F}_a^c$ , que se manifesta enquanto o objecto se desloca. A experiência mostra-nos que a força que é necessária para manter um objecto em movimento é menor do que a que foi necessária para o fazer passar do estado de repouso ao estado de movimento. Portanto, a força de atrito cinético,  $\vec{F}_a^c$ , é menor do que o valor limite da força de atrito estático,  $\vec{F}_a^e$ . Sabemos, também experimentalmente, que o módulo da força de atrito cinético é proporcional ao módulo da força normal  $\vec{N}$ :  $|\vec{F}_a^c| = \mu_c |\vec{N}|$ , onde  $\mu_c$  é o coeficiente de atrito cinético entre as duas superfícies em contacto. Quanto à força de atrito estático podemos escrever:  $|\vec{F}_a^e| \leq \mu_e |\vec{N}|$ , sendo  $\mu_e$  o coeficiente de atrito estático entre as mesmas superfícies.

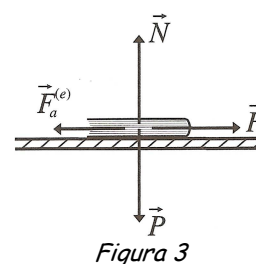


Figura 3

Se o objecto estiver em repouso sobre um plano inclinado e o ângulo de inclinação ( $\theta$ ) for sendo lentamente aumentado, a componente do peso normal à superfície,  $\vec{P}_n$ , vai diminuindo e

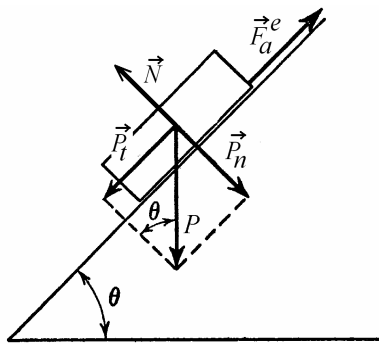


Figura 4

a componente tangencial,  $\vec{P}_t$ , vai aumentando (Figura 4). Para um determinado valor do ângulo  $\theta$ , a componente  $|\vec{P}_t| = |\vec{P}|\sin\theta$ , paralela ao plano, torna-se igual ao valor limite da força de atrito estático  $\vec{F}_a^e$ . A partir daí, qualquer pequeno aumento do ângulo  $\theta$  faz o objecto começar a deslizar. O ângulo para o qual as forças se igualam é designado por *ângulo limite*. Para este

$$\text{ângulo: } \mu_e = \frac{|\vec{F}_a^e|}{|\vec{N}|} = \frac{|\vec{P}_t|}{|\vec{P}_n|} = \frac{P \sin \theta}{P \cos \theta} = \text{tg} \theta .$$

## 2. Material necessário

Uma calha, uma roldana, três blocos de madeira, uma barra metálica "stop movimento", uma régua graduada, um suporte para massas, uma balança, massas marcadas, grãos de chumbo, pinça e um suporte vertical auxiliar, munido de noz e de vara horizontal.

## 3. Execução experimental e análise dos dados obtidos

**Notas** - Em todas as medidas que realizar, anote sempre a incerteza associada ao valor medido.

- Não faça as medidas todas de uma vez e os cálculos apenas no final. É melhor ir verificando que os dados obtidos conduzem a resultados aceitáveis.

1. Tome o bloco de madeira que tem à sua disposição (chamemos-lhe bloco 1), meça e registre a sua massa e a respectiva incerteza:  $M \pm \delta M$ .

### 3.1. Determinação do coeficiente de atrito estático - calha horizontal

2. Com a calha na posição horizontal, monte a roldana num dos seus extremos. Coloque o bloco 1 sobre a calha (numa posição que deve anotar) e prenda o extremo livre do fio do suporte de massas ao bloco. O fio deve passar

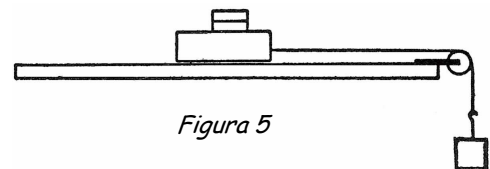


Figura 5

pela roldana e deve ficar paralelo ao plano da calha, como mostra a Figura 5. Verifique que o bloco não se move. Um pouco à frente do bloco coloque na calha o "stop movimento" para evitar que o bloco saia da calha quando iniciar o movimento. Não esqueça que o fio também não pode tocar no "stop movimento".

3. Com cuidado, vá colocando massas marcadas no suporte de massas (pode utilizar a pinça disponível para não exercer muita força no suporte), até que o bloco se comece a deslocar. Como as massas marcadas mais pequenas têm 5 g de massa, repita o

procedimento, afinando o peso necessário para pôr o bloco em movimento recorrendo aos grãos de chumbo (pese um dos grãos para ter uma ideia da quantidade a usar).

Logo que o bloco se comece a mover, pare a experiência e meça a massa total do suporte de massas (copo, fio, massas marcadas e grãos de chumbo),  $m \pm \delta m$ .

Faça uma determinação rápida do módulo da força aplicada ao bloco 1 ( $\vec{F}$ ) e da normal ( $\vec{N}$ ) e determine o coeficiente de atrito estático.

Repita a experiência mais duas vezes, colocando o bloco sempre na mesma posição inicial.

Prepare uma tabela do tipo da Tabela I e anote todos os dados no seu logbook, bem como as fórmulas que utilizará para os cálculos das grandezas não medidas directamente.

4. Trabalhe os dados que recolheu da forma mais conveniente e analise-os de acordo com os conhecimentos teóricos que possui, tendo em vista o objectivo desta parte do trabalho. Não se ocupe, por agora, com a propagação dos erros associados aos valores experimentais medidos.

Vamos agora repetir o procedimento mas *sobrecarregando* o bloco 1 com outros blocos de madeira.

Tabela I

Conjunto bloco + carga	Massa total do bloco $M \pm \delta M$ (kg)	Massa do suporte + fio + massas marcadas + pregos $m \pm \delta m$ (kg)	Força aplicada $F \pm \delta F$ (N)	Força Normal $N \pm \delta N$ (N)	Coeficiente de atrito estático $\mu_e \pm \delta \mu_e$
bloco 1					
bloco + 1 carga 1a					
bloco + 2 cargas 1b					

5. Coloque uma carga (de madeira) sobre o bloco 1 (passando a chamar bloco 1a ao conjunto bloco 1 + carga) e repita os pontos 3 e 4, não se esquecendo de medir a massa do bloco 1a. Coloque os blocos na mesma posição que anteriormente.
6. Repita o ponto 5 para outra carga diferente (2 blocos de madeira) sobre o bloco 1. Chame-lhe, por exemplo, bloco 1b. Inicie as medidas com os blocos na mesma posição que anteriormente.

7. Determine o melhor valor obtido por este método para o coeficiente de atrito estático.

### 3.2. Determinação do ângulo limite e do atrito estático – plano inclinado

8. Com a calha em posição horizontal, sem roldana, coloque o bloco 1, sem cargas e sem o suporte de massas, sobre a calha (tomando nota da posição em que fica).
9. Levante lentamente um dos extremos da calha com a ajuda do suporte auxiliar vertical até que o bloco comece a deslizar. Fixe então o suporte, para efectuar medições. Com auxílio da régua disponibilizada e usando também a régua fixada na calha, determine o ângulo de inclinação para o qual o bloco começou a escorregar. Não esqueça de registar as incertezas associadas.

Repita o procedimento mais duas vezes, iniciando com o bloco sempre na mesma posição.

10. Proceda ao tratamento dos dados que recolheu, analisando-os tendo em vista o objectivo desta parte do trabalho.

## 4. Discussão de resultados

11. Faça agora uma análise crítica da experiência e suas limitações, comparando e discutindo os valores obtidos nos pontos 3.1 e 3.2 para o atrito estático.

## Bibliografia

- [1] M. Alonso e E. Finn, *Física*, Addison-Wesley Iberoamericana (1999)
- [2] M.M.R.R. Costa e M.J.B.M. de Almeida, *Fundamentos de Física*, 2ª edição, Coimbra, Livraria Almedina (2004).
- [3] Paul Tipler, *Física*, Editora Guanabara-Koogan, 4ª Edição (2000).
- [4] M.C. Abreu, L. Matias e L.F. Peralta, *Física Experimental - Uma introdução*, Lisboa, Editorial Presença (1994).