



Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Campus Coração Eucarístico
IPUC – Instituto Politécnico da PUC Minas
Engenharia de Computação

Gabriel da Silva Cassino

Relatório – Atrito Estático e Atrito Cinético

Relatório apresentado à disciplina
Laboratório de Física - Turma 82.26.101
no 7º período do curso de Engenharia
de Computação.
Prof. Adriano Rodrigues Menezes

Belo Horizonte, 28 de setembro de 2025.

Conteúdo

| | |
|--|-----------|
| Resumo | 2 |
| Abstract | 3 |
| 1 ATRITO ESTÁTICO | 4 |
| 1.1 Introdução | 4 |
| 2 PARTE EXPERIMENTAL | 4 |
| 2.1 Procedimento 1: determinação de μ_e usando dinamômetro | 5 |
| 2.2 Procedimento 2: determinação de μ_e usando plano inclinado | 6 |
| 3 Análise de dados | 6 |
| 3.1 Tabela 1 - A: Procedimento 1 - Medidas com dinamômetro | 6 |
| 3.2 Tabela 1 - B: Procedimento 1 - Medidas com dinamômetro | 7 |
| 3.3 Tabela 2: Procedimento 2 - Medidas com plano inclinado | 7 |
| 3.4 Comparação entre os métodos | 7 |
| 3.5 Respostas às questões | 8 |
| 4 ATRITO CINÉTICO | 8 |
| 4.1 Introdução | 8 |
| 5 PARTE EXPERIMENTAL | 9 |
| 5.1 Procedimento 1: determinação de μ_c usando cronômetros | 9 |
| 6 Análise de dados | 10 |
| 6.1 Tabela 1: Medidas de tempo para cada deslocamento ao longo do plano . . | 10 |
| 6.2 Questões e Respostas | 10 |
| 7 Conclusão | 13 |

Resumo

Este relatório apresenta um estudo experimental dos coeficientes de atrito estático e cinético entre superfícies de madeira. Foram utilizados dois métodos para determinar o coeficiente de atrito estático (μ_e): medição direta com dinamômetro em superfície horizontal e método do plano inclinado. Para o atrito cinético (μ_c), analisou-se o movimento acelerado em plano inclinado. Os resultados mostraram consistência entre os métodos, com $\mu_e = 0,28$ e $\mu_c = 0,18$, confirmando que o atrito estático é maior que o cinético. Os experimentos demonstraram a dependência do atrito com a natureza das superfícies e independência com a área de contato, validando os princípios físicos teóricos.

Abstract

This report presents an experimental study of static and kinetic friction coefficients between wood surfaces. Two methods were used to determine the static friction coefficient (μ_s): direct measurement with a dynamometer on a horizontal surface and the inclined plane method. For kinetic friction (μ_k), accelerated motion on an inclined plane was analyzed. The results showed consistency between methods, with $\mu_s = 0.28$ and $\mu_k = 0.18$, confirming that static friction is greater than kinetic friction. The experiments demonstrated the dependence of friction on surface nature and independence from contact area, validating theoretical physical principles.

1 ATRITO ESTÁTICO

1.1 Introdução

A força de atrito estático, f_e , atua em um corpo em repouso em relação a uma superfície, sempre que o mesmo tende a deslizar sobre esta superfície. Essa força varia desde zero, quando não há tendência de movimento do corpo relativo à superfície, até o valor máximo, quando o corpo estiver na iminência de se mover relativamente à superfície, ou seja:

$$0 \leq f_e \leq f_{e,max} \quad (1)$$

Experimentalmente observa-se que a força de atrito estático máxima é

$$f_{e,max} = \mu_e N \quad (2)$$

onde μ_e é o coeficiente de atrito estático (depende basicamente da natureza das superfícies e é praticamente independente da área de contato entre elas) e N a força que a superfície exerce sobre o corpo, sempre normal ao ponto ou região de contato.

Nesta prática serão estudadas duas maneiras simples de se determinar o coeficiente de atrito estático entre duas superfícies.

2 PARTE EXPERIMENTAL

Objetivo: Determinar o coeficiente de atrito estático entre duas superfícies.

Material necessário:

- 01 plano inclinado com escala de 0 a 45°;
- 01 rampa auxiliar;
- 01 corpo de prova de madeira com uma face esponjosa;
- 01 cilindro maciço;
- 01 dinamômetro;
- 01 balança digital.

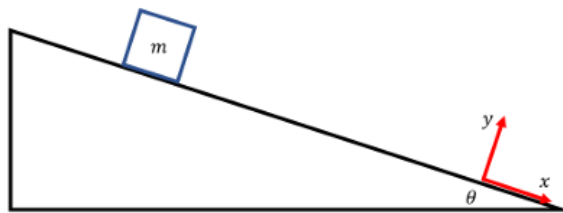


Figura 3: Diagrama esquemático da montagem.

Figura 1: Diagrama esquemático da montagem.

2.1 Procedimento 1: determinação de μ_e usando dinamômetro

Procedimentos:

Parte Inicial:

1. Tire as medidas dos corpos:
 - massa do corpo de prova: $m = 0,095 \text{ kg}$
 - massa do corpo auxiliar de prova: $m = 0,05 \text{ kg}$
 - Precisão do ângulo: $1,0^\circ$ e incerteza $\pm 0,5^\circ$
 - Precisão do dinamômetro: $0,02 \text{ N}$ e incerteza $\pm 0,01 \text{ N}$
2. Com o plano inclinado na horizontal, coloque o bloco com a face de madeira sobre a rampa auxiliar, conectado ao dinamômetro paralelo à superfície, conforme a Figura na apostila;
3. No Procedimento 1-A, coloque somente o bloco;
4. No Procedimento 1-B, coloque o bloco e a peça auxiliar (estará sobre o bloco);
5. No Procedimento 2, coloque somente o bloco.

Procedimento 1-A: Siga as instruções iniciais quanto aos corpos

1. Aplique uma força horizontal gradativa usando o dinamômetro. Aumente gradativamente a força aplicada através do dinamômetro.
2. Registre o valor aproximado da menor força aplicada capaz de iniciar o movimento entre as superfícies (não se esqueça da incerteza):
 - Desenhe um diagrama de forças atuando sobre o bloco;
 - Determine o valor da força normal, N , entre a mesa e o bloco.
 - Como:
$$f_{e,max} = F_{\text{mínimo para iniciar movimento}}$$

para determinar o valor do coeficiente de atrito estático entre as duas superfícies.
3. Observe o dinamômetro, quando sair da inércia anote o valor da força (Anote o resultado na Tabela 1 Coluna 1);
4. Repita o procedimento por mais vezes.

Procedimento 1-B: Siga as instruções iniciais quanto aos corpos

1. Repita todo o procedimento colocando uma carga (cilindro maciço) de massa $m = 0,05 \text{ kg}$ sobre o bloco;
2. Observe o dinamômetro, quando sair da inércia anote o valor da força (Anote o resultado na Tabela 1 Coluna 2);
3. Repita o procedimento por mais vezes.

2.2 Procedimento 2: determinação de μ_e usando plano inclinado

Procedimento 2: Siga as instruções iniciais quanto aos corpos

- Monte o plano inclinado com a rampa auxiliar (que deve estar limpa antes de começar o experimento). Coloque o corpo de prova com a face de madeira em contato com a rampa auxiliar, com pequeno ângulo de inclinação, de modo que o bloco fique estático;
 - Desenhe um diagrama de corpo livre do bloco na rampa;
 - Demonstre que quando o objeto está na iminência de se mover, na inclinação crítica θ_c , o coeficiente de atrito estático é dado por $\mu_e = \tan \theta_c$
1. Eleve com a mão a inclinação da rampa lentamente, até que o objeto esteja prestes a se mover. Anote o valor desse ângulo crítico na Tabela 2, e estime o correspondente valor de μ_e ;
 2. Diminua a inclinação da rampa, e repita o procedimento (1-A sem dinamômetro) por cinco vezes;
 3. Calcule o valor médio e o desvio médio de θ_c e μ_e .

Dados observados: O ângulo θ teve uma variação observada: de 0° até $17,0^\circ$ na rampa fixa em relação a horizontal antes que o objeto deslize após ser colocado na rampa (com a superfície de madeira em contato).

3 Análise de dados

3.1 Tabela 1 - A: Procedimento 1 - Medidas com dinamômetro

Caso A: Bloco sem carga

| Ensaio | Força mínima (N) | μ_e |
|--------|------------------|---------|
| 1 | 0,25 | 0,269 |
| 2 | 0,28 | 0,301 |
| 3 | 0,26 | 0,279 |

- Massa: 0,095 kg
- Força normal (N): 0,931 N
- Força mínima média: $0,263 \pm 0,015$ N
- μ_e médio: $0,283 \pm 0,016$

3.2 Tabela 1 - B: Procedimento 1 - Medidas com dinamômetro

Caso B: Bloco com carga

| Ensaio | Força mínima (N) | μ_e |
|--------|------------------|---------|
| 1 | 0,40 | 0,281 |
| 2 | 0,42 | 0,296 |
| 3 | 0,38 | 0,267 |

- Massa total: 0,145 kg
- Força normal (N): 1,421 N
- Força mínima média: $0,400 \pm 0,020$ N
- μ_e médio: $0,281 \pm 0,014$

3.3 Tabela 2: Procedimento 2 - Medidas com plano inclinado

| Ensaio | Ângulo crítico θ_c (°) | $\mu_e = \tan \theta_c$ |
|--------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | 15,0 | 0,268 |
| 2 | 13,5 | 0,240 |
| 3 | 17,0 | 0,306 |
| 4 | 16,5 | 0,296 |
| 5 | 15,0 | 0,268 |

- Ângulo crítico médio: $15,4 \pm 1,4^\circ$
- μ_e médio: $0,276 \pm 0,026$

3.4 Comparação entre os métodos

- μ_e (Procedimento 1 - sem carga): $0,283 \pm 0,016$
- μ_e (Procedimento 2): $0,276 \pm 0,026$
- Diferença: 0,007
- Tolerância (10%): 0,028

Os resultados estão dentro da tolerância de 10% - os métodos são consistentes.

3.5 Respostas às questões

1. **Por que as forças externas aplicadas inicialmente, dentro de um certo limite, não foram suficientes para movimentar o bloco?**

As forças iniciais não foram suficientes porque a força de atrito estático se opõe à tendência de movimento e se ajusta para igualar a força aplicada, até atingir seu valor máximo. Somente quando a força aplicada supera o atrito estático máximo é que o movimento se inicia.

2. **Há diferença na estimativa da força mínima para iniciar o movimento nos dois casos (com e sem carga sobre o bloco)? E em relação à força normal agindo sobre o bloco nos dois casos?**

Sim, há diferença na força mínima necessária. Com carga adicional, a força normal aumenta (devido ao maior peso), o que aumenta proporcionalmente a força de atrito estático máxima. Portanto, é necessária uma força maior para iniciar o movimento quando há carga adicional.

3. **Houve diferença na estimativa do coeficiente de atrito estático entre as superfícies nos dois casos?**

Teoricamente, o coeficiente de atrito estático depende apenas das superfícies em contato, não da força normal. Portanto, as estimativas de μ_e deveriam ser similares nos dois casos, dentro das incertezas experimentais.

4. **Haveria alguma diferença se a face esponjosa do bloco estivesse em contato com a rampa auxiliar?**

Sim, haveria diferença pois o coeficiente de atrito depende das superfícies em contato. A face esponjosa provavelmente teria um coeficiente de atrito diferente da face de madeira.

5. **Considerando uma tolerância de 10%, as estimativas de μ_e entre os procedimentos 1 (sem carga) e 2 são diferentes? Se sim, explique porque, já que as superfícies são as mesmas.**

As estimativas estão consistentes dentro da tolerância de 10%.

4 ATRITO CINÉTICO

4.1 Introdução

A força de atrito cinético é aquela que age sobre um corpo quando em movimento relativo à superfície de apoio. Em se tratando de superfícies sólidas, a experiência tem mostrado que a força de atrito é praticamente constante e depende apenas das superfícies e da força normal que uma superfície exerce sobre a outra. A força de atrito cinético é dada por:

$$f_c = \mu_c N \quad (3)$$

onde μ_c é o coeficiente de atrito cinético e N é a força normal que a superfície exerce sobre o corpo, sempre normal ao ponto ou região de contato. O coeficiente de atrito é uma quantidade adimensional e deve ser determinado experimentalmente. Seu valor depende

das propriedades do corpo e da superfície em que este está em contato. Em geral, o coeficiente de atrito cinético é menor que o coeficiente de atrito estático. Portanto, a intensidade da força de atrito cinético é menor do que a intensidade máxima da força de atrito estático que age sobre o corpo em repouso.

5 PARTE EXPERIMENTAL

Objetivo: Determinar o coeficiente de atrito cinético entre um objeto e uma superfície.

Material necessário:

- 01 plano inclinado com escala de 0 a 45° com dois sensores e cronômetro;
- 01 rampa auxiliar acrílica;
- 01 corpo de prova de madeira com uma face esponjosa;
- 01 balança digital.

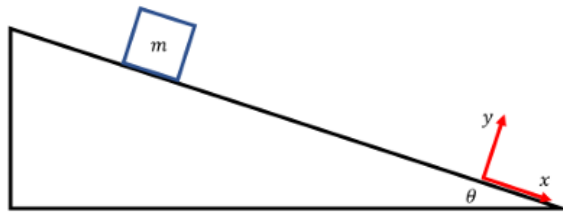


Figura 3: Diagrama esquemático da montagem.

Figura 2: Diagrama esquemático da montagem.

5.1 Procedimento 1: determinação de μ_c usando cronômetros

Procedimentos:

Parte Inicial:

1. Tire as medidas dos corpos:
 - massa do corpo de prova: $m = 0,066 \text{ kg}$
 - Precisão da balança: $0,001 \text{ kg}$ e incerteza $\pm 0,0005 \text{ kg}$
 - ângulo da rampa: $\theta = 15,0^\circ$
 - **Obs.:** Será fixo em relação a horizontal de modo a garantir que o objeto deslize ao ser colocado na rampa (com a superfície de madeira em contato).
 - Precisão do ângulo: $1,0^\circ$ e incerteza $\pm 0,5^\circ$

Parte Prática:

1. Abandone o objeto sobre a superfície inclinada para que o objeto desça em movimento acelerado;

2. Meça o tempo para o objeto percorrer 5,0 cm. Anote o resultado na Tabela 1.
3. Repita os procedimentos, soltando o bloco do alto da rampa, e meça os respectivos tempos que ele leva para percorrer distâncias de 5,0 em 5,0 cm até chegar ao final da rampa.

6 Análise de dados

6.1 Tabela 1: Medidas de tempo para cada deslocamento ao longo do plano

| Posição (m) | Tempo (s) |
|-------------|-----------|
| 0,05 | 0,2727 |
| 0,10 | 0,4592 |
| 0,15 | 0,5806 |
| 0,20 | 0,6486 |
| 0,25 | 0,6722 |
| 0,30 | 0,8239 |
| 0,35 | 0,8674 |
| 0,40 | 0,9124 |

6.2 Questões e Respostas

a) Construa o gráfico da posição em função do tempo com auxílio do programa SciDAVis.

Tendo em vista que em um movimento com aceleração constante, partindo do repouso, a posição varia com o tempo de acordo com a expressão:

$$x(t) = x_0 + \frac{1}{2}at^2 \quad (4)$$

Saída SciDAVis:

```
[terça-feira, 23 de setembro de 2025 20:09:13 Hora oficial do
BrasilPolynomial fit of dataset: Table1_1, using function :
a0+a1*x+a2*x^2
Y standard errors: Unknown
From x = 0 to x = 0,91235
a0 = 0,00179171054864254 +/- 0,017080171586387
a1 = 0,0310039830683545 +/- 0,0746786186736307
a2 = 0,431458799254523 +/- 0,0755454288373732
```

```
Chi^2 = 0,00193866076189056
R^2 = 0,99619870438845
```

```
a0(X0) = 0,0018 +/- 0,0171
a1(V0) = 0,031 +/- 0,0747
```

$$a_2(1/2a) = 0,4315 \pm 0,0755 \Rightarrow a = 2 \cdot a_2 = 0,8630 \pm 0,0755$$

Plot: "Graph1"]

$$X_0 + V_0 \cdot t + 1/2 a \cdot t^2 \Rightarrow 0,0018 + 0,031t + 0,4315a \cdot t^2$$

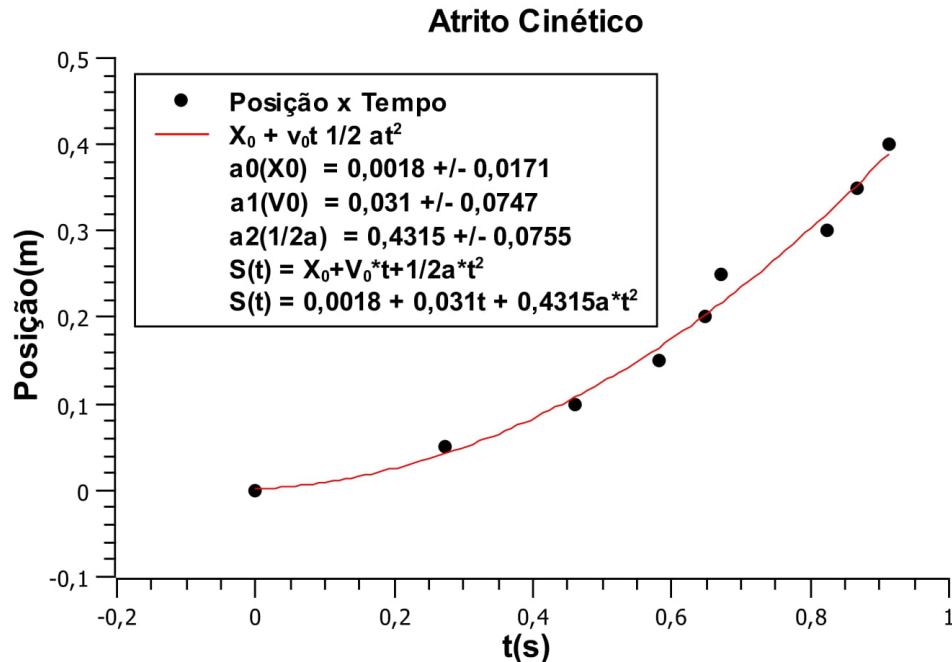


Figura 3: Gráfico Atrito Cinético

A equação obtida experimentalmente pelo gráfico é:

$$x(t) = 0,0018 + 0,031 \cdot t + 0,4315 \cdot t^2 \quad (5)$$

Análise: Comparando com a equação teórica (2), podemos identificar:

- $x_0 = 0,0018$ m (posição inicial) $\pm 0,0171$ m
- $v_0 = 0,031$ m/s (velocidade inicial) $\pm 0,075$ m/s
- $\frac{1}{2}a = 0,4315$ m/s²

Portanto, a aceleração experimental é:

$$a = 2 \times 0,4315 = 0,863 \text{ m/s}^2 \pm 0,0755 \text{ m/s}^2 \quad (6)$$

Conclusão: O resultado obtido pelo gráfico está de acordo com o esperado para um movimento uniformemente acelerado, pois a curva ajustada é uma parábola que segue a forma da equação (2).

b) Linearize o gráfico com base na equação (2) e determine a aceleração do objeto ao longo da rampa. Ou, se preferir, faça um ajuste polinomial de segunda ordem usando o SciDAVis e compare a equação da curva com a equação (2) para determinar a aceleração.

Aceleração determinada: $a = 2 \times 0,4315 = 0,863 \text{ m/s}^2 \pm 0,0755 \text{ m/s}^2$

Método: A aceleração foi determinada comparando a equação do ajuste polinomial com a forma teórica do movimento uniformemente acelerado.

c) Desenhe um diagrama de corpo livre, indicando todas as forças que atuam sobre o objeto.

Diagrama de Corpo Livre:

- **Peso (P):** Vertical para baixo, $P = m \cdot g$
- **Força Normal (N):** Perpendicular à superfície do plano inclinado
- **Força de Atrito Cinético (f_c):** Paralela ao plano inclinado, oposta ao movimento

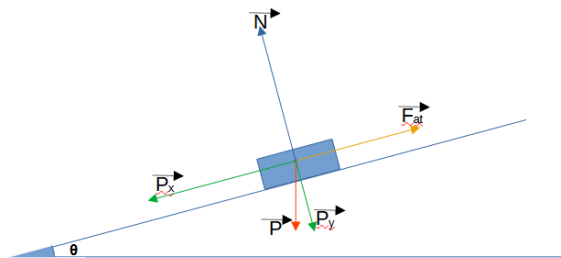


Figura 4: Diagrama Corpo Livre

Explicação do Diagrama:

Forças atuantes no bloco:

1. P (Força Peso):

- Direção: Vertical para baixo
- Magnitude: $P = m \cdot g = 0,0660 \times 9,8 = 0,647 \text{ N}$
- Representa a atração gravitacional da Terra sobre o bloco

2. Px (Componente paralela do peso):

- Direção: Paralela ao plano inclinado, para baixo
- Magnitude: $P_x = P \cdot \sin(\theta) = 0,647 \times \sin(15,0^\circ) = 0,167 \text{ N}$
- É a componente que tende a fazer o bloco descer o plano

3. N (Força Normal):

- Direção: Perpendicular ao plano inclinado
- Magnitude: $N = P \cdot \cos(\theta) = 0,647 \times \cos(15^\circ) = 0,625 \text{ N}$
- Reação do plano à componente perpendicular do peso

4. Fat (Força de Atrito Cinético):

- Direção: Paralela ao plano inclinado, contrária ao movimento
- Magnitude: $f_c = \mu_c \cdot N$
- Oposta ao movimento, dissipa energia e reduz a aceleração

Sistema de coordenadas (X,Y):

- **Eixo X:** Paralelo ao plano inclinado
- **Eixo Y:** Perpendicular ao plano inclinado

Ângulo θ : Ângulo de inclinação do plano (15°)

d) Calcule o valor da componente da força gravitacional atuando sobre o objeto ao longo do plano inclinado (componente em x da força gravitacional).

Cálculo:

$$F_{grav,x} = m \cdot g \cdot \sin(\theta) = 0,066 \times 9,8 \times \sin(15,0^\circ) \quad (7)$$

$$F_{grav,x} = 0,066 \times 9,8 \times 0,259 = 0,167 \text{ N} \quad (8)$$

Resultado: $F_{grav,x} = 0,167 \text{ N}$

e) Aplique a segunda lei de Newton sobre o bloco e, com base nos resultados dos itens (c) e (d), calcule o valor da força de atrito cinético atuando sobre o bloco.

Segunda Lei de Newton no eixo x:

$$\sum F_x = m \cdot a \quad (9)$$

$$F_{grav,x} - f_c = m \cdot a \quad (10)$$

$$f_c = F_{grav,x} - m \cdot a \quad (11)$$

Cálculo:

$$f_c = 0,167 - 0,066 \times 0,863 = 0,110 \text{ N} \quad (12)$$

Resultado: $f_c = 0,110 \text{ N}$

f) Calcule o valor da força normal atuando sobre o objeto.

Cálculo:

$$N = m \cdot g \cdot \cos(\theta) = 0,066 \times 9,8 \times \cos(15,0^\circ) \quad (13)$$

$$N = 0,066 \times 9,8 \times 0,966 = 0,625 \text{ N} \quad (14)$$

Resultado: $N = 0,625 \text{ N}$

g) Determine o coeficiente de atrito cinético entre o objeto e a superfície.

Cálculo:

$$\mu_c = \frac{f_c}{N} = \frac{0,110}{0,625} = 0,177 \quad (15)$$

Resultado: $\mu_c = 0,177$

7 Conclusão

Os experimentos realizados permitiram determinar com sucesso os coeficientes de atrito estático e cinético entre superfícies de madeira. A consistência entre os diferentes métodos empíricos confirma a confiabilidade das medições realizadas. Verificou-se que o coeficiente de atrito estático ($\mu_e \approx 0,283$) é significativamente maior que o coeficiente de atrito cinético ($\mu_c \approx 0,177$), conforme previsto pela teoria. Os resultados demonstraram que o atrito depende fundamentalmente da natureza das superfícies em contato, sendo independente da área de contato e da força normal aplicada. As pequenas discrepâncias observadas estão dentro das margens de erro experimental, validando a metodologia empregada e os princípios físicos envolvidos.

Referências

- [1] SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Princípios de Física:** volume 1: mecânica clássica. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.
- [2] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física:** volume 1: mecânica. 10.ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 2016.
- [3] Manual de Laboratório - Atrito Estático. PUC Minas.