

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS**  
**LABORATÓRIO DE FÍSICA 1**

**ESTÁTICA**

**JOÃO VICTOR ALCÂNTARA PIMENTA**

**Nº USP: xxxxxx**

**BELO HORIZONTE, 2020**

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 EXPERIMENTO 1**

Este experimento consiste em determinar a massa de dois blocos, a partir da tensão exercida na corda acoplada à eles, em um sistema em equilíbrio estático. Compara-se então os resultados deste método às massas determinadas pela balança para efeito de comparação dos métodos.

### **1.2 EXPERIMENTO 2**

Este experimento tem como objetivo determinar a tração de rompimento de uma corda. Compara-se aqui dois métodos de determinação dessa tração para esclarecer suas especificidades. Um consiste no simples acréscimo de massa à ponta de uma corda suspensa para, com o peso, se determinar a tensão. O outro já se utiliza de uma haste móvel para que, alterando-se o ângulo em que a corda tem de sustentar o sistema, a tensão aumenta continuamente com a mesma massa suspensa.

### **1.3 EXPERIMENTO 3**

Faz-se neste experimento a determinação do coeficiente de atrito entre duas superfícies. No primeiro caso se mede o coeficiente das superfícies de feltro e fórmica, a outra, entre fórmica e fórmica. A partir daí pode-se fazer afirmações comparativas sobre ambos materiais neste contexto.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS:**

Para garantir uma equivalência entre os resultados padrões e os obtidos pelo experimentos, utiliza-se a seguinte equação:

$$|x_1 - x_2| < 2(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (\text{I})$$

## 2.1 EXPERIMENTO 1

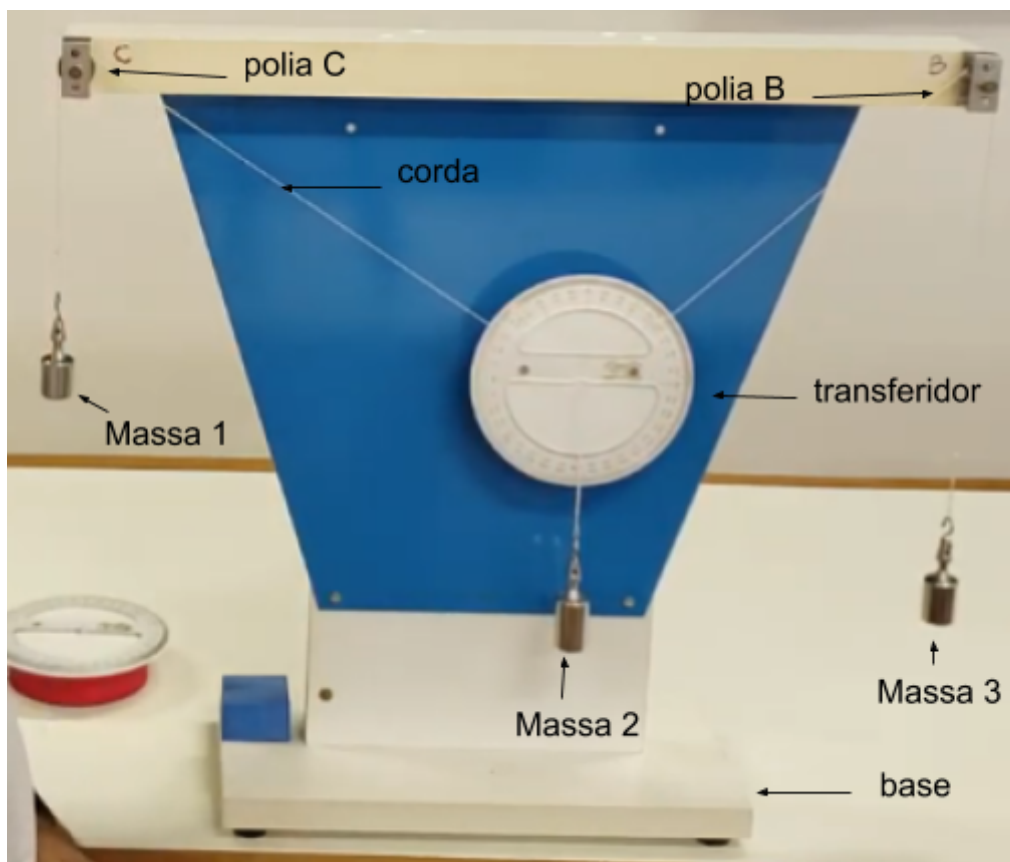
### 2.1.1 MATERIAIS

O experimento 1 faz uso de:

- Uma corda leve, da qual o peso desconsideraremos;
- Três blocos metálicos;
- Uma base com duas polias para a montagem;
- Um transferidor acoplado à um imã para fixação na base metálica;
- Uma balança de precisão de 0,01g.

### 2.1.2 MÉTODOS

Faz-se a seguinte montagem:



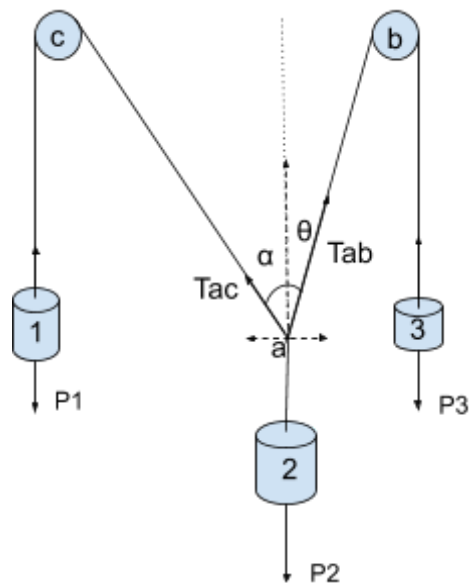
**Imagem 1 - Montagem experimento 1**

Fonte: Retirado do Vídeo disponibilizado no Moodle USP, adaptado pelo compilador

Três massas são suspensas como na montagem acima, onde uma componente da tração causada pelas massas 1 e 3 mantém estacionária a massa 2. Na ponto A, definido como o ponto de encontro da corda que suspende a massa 2 com as cordas que se prendem às outras duas massas, o equilíbrio de forças pode ser definido da seguinte forma:

$$\sum F_x : \text{sen}\theta \, T_{ab} - \text{sen}\alpha \, T_{ac} = 0 \quad (\text{II})$$

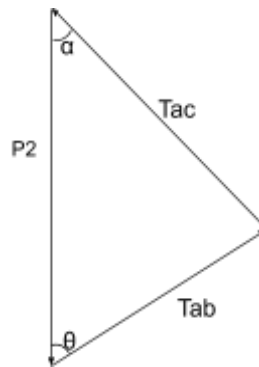
$$\sum F_y : \text{cos}\theta \, T_{ab} + \text{cos}\alpha \, T_{ac} - P_2 = 0 \quad (\text{III})$$



**Imagem 2 - Simplificação experimento 1**

Fonte: Elaborado pelo Compilador

Uma vez medido os ângulos a partir do transferidor, é possível utilizar desses valores para calcular as trações a partir da Lei dos Senos tirada do equilíbrio em A.



**Imagem 3** - Triângulo de Forças

Fonte: Elaborado pelo Compilador

Assim:

$$\frac{T_{ab}}{\sin \alpha} = \frac{T_{ac}}{\sin \theta} = \frac{P_2}{\sin(180-(\alpha+\theta))} \quad (\text{IV})$$

Determinadas as trações, observa-se também que  $T_{ac} = P_3$  e  $T_{ab} = P_1$ . Assim, pode-se também fazer a estimativa dos pesos das massas 1 e 3 a partir do peso da massa 2. Compara-se também estas estimativas com o peso indicado pela balança para efeitos de avaliação da precisão.

## 2.2 EXPERIMENTO 2

### 2.2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para este experimento foram:

- Um fio;
- Uma base para a montagem do experimento composta de uma régua, uma haste móvel e um trilho para tirar a medida;
- Uma massa de  $M = (56,75 \pm 0,01)\text{g}$ .

### 2.2.2 MÉTODOS

Se fará de duas formas as medidas.

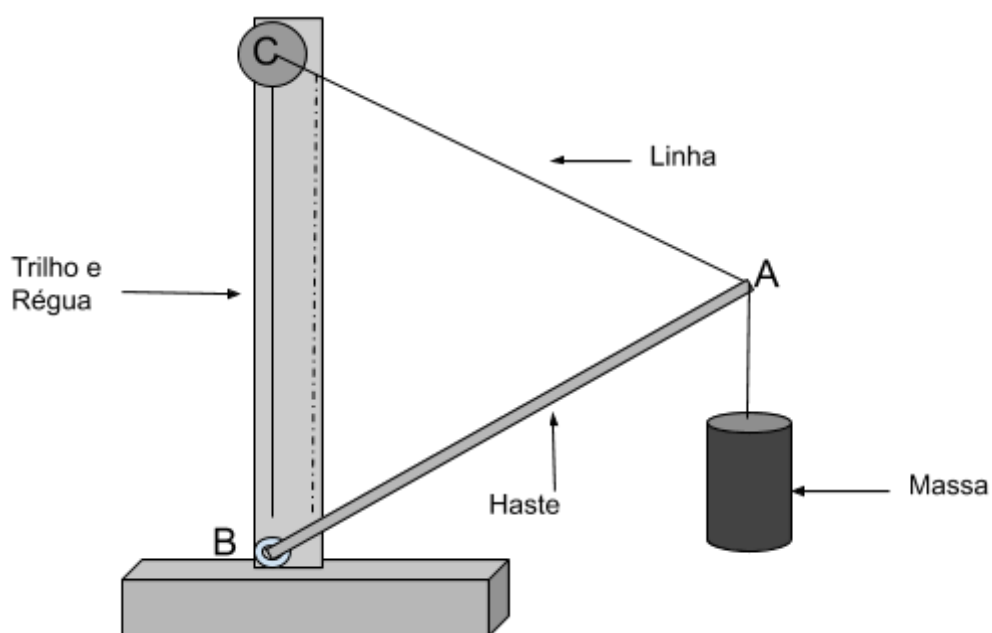
Para os dois métodos se farão diversas medidas e é possível determinar os parâmetros da resposta com as seguintes expressões:

$$\overline{T} = \frac{\sum T_i}{N} ; \quad (\text{VI})$$

$$\Delta \overline{T} = \frac{\sum |T_i - \overline{T}|}{N} \quad (\text{VII})$$

### 2.2.2.1 MÉTODO 1

Uma representação dessa montagem com seus itens seria:



**Imagem 4** - Montagem experimento 2, método 1

Fonte: Elaborado pelo Compilador

É sabido que a tração  $T$  na corda de comprimento  $L$  pode ser dada por:

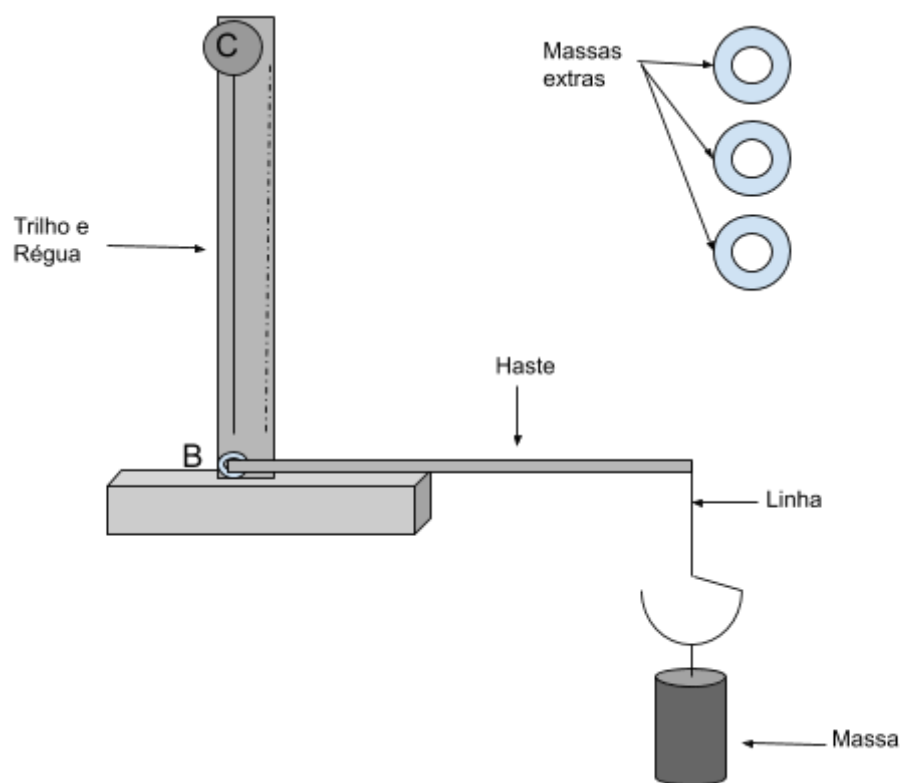
$$T = (M \times g \times L) / (\overline{CB}) \quad (\text{V})$$

Assim, o método consiste em diminuir progressivamente a distância entre C e B. Assim, de acordo com a relação, a tração deve aumentar até que a corda se rompa. Quando houver o rompimento, marca-se a distância entre C e B e pode-se calcular a tração de rompimento.

Uma observação importante é que a medida de L deve ser realizada quando houver alguma tração na corda pois pela natureza elástica dos materiais, essa medição será mais precisa quando houver essa preocupação.

#### 2.2.2.2 MÉTODO 2

A montagem neste método é a seguinte:



**Imagem 5** - Montagem experimento 2, método 2

Fonte: Elaborado pelo Compilador

Este método consiste em aumentar o peso preso à linha, gradualmente adicionando as massas extras de massa bem conhecida. Ao romper o fio, sabe-se qual a massa que estava pendendo pela tração, igual ao peso total das massas colocadas.

## 2.3 EXPERIMENTO 3

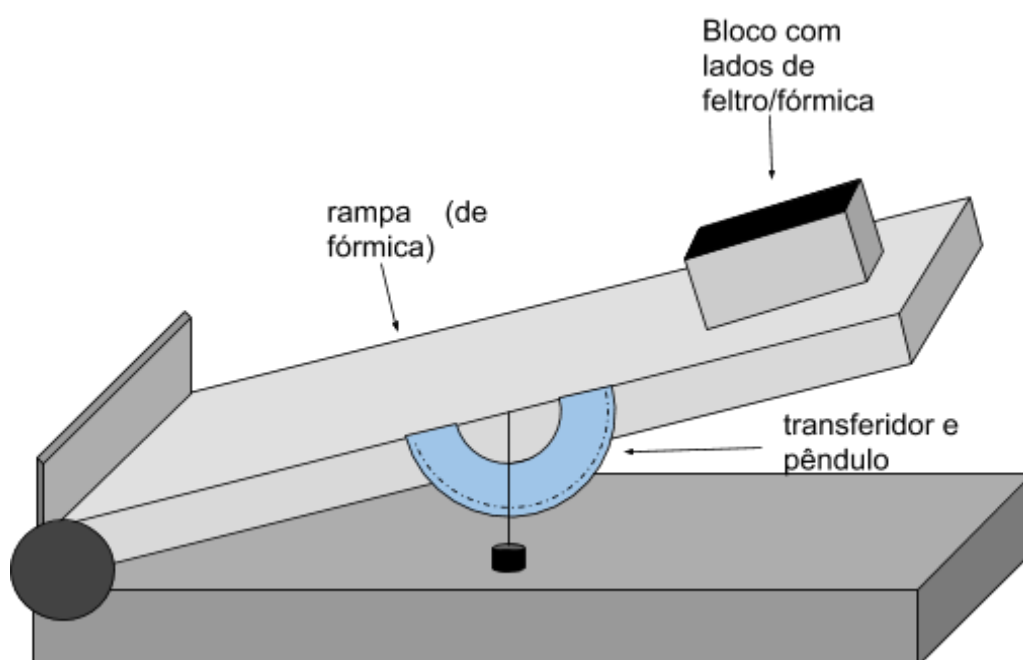
### 2.3.1 MATERIAIS

Neste experimento se utilizará os seguintes materiais:

- Um bloco de madeira com duas superfícies opostas de materiais diferentes, uma de feltro e a outra de fórmica;
- Uma base com a rampa de ângulo variável;
- Uma transferidor acoplado a rampa;
- Um pêndulo para acusar a vertical e auxiliar a medição do ângulo.

### 2.3.2 MÉTODOS

Executa-se a seguinte montagem:





**Imagem 6 - Montagem experimento 3**

*Fonte: Elaborado pelo Compilador*

Eleva-se a rampa até o ponto de iminência do movimento do bloco. No momento que o bloco se move, é medido o ângulo obtido ( $\delta$ ) e este é usado para determinar o coeficiente de atrito das duas superfícies ( $\mu_e$ ) a partir da seguinte relação:

$$\mu_e = \tan(\delta) \quad \text{(VIII)}$$

As medições serão feitas para dois casos. No primeiro caso o lado de fórmica do bloco estará em contato com a rampa. No segundo se fará a determinação para o coeficiente de fórmica com feltro.

O coeficiente e seu erro serão dados pelas seguintes expressões:

$$\bar{\mu} = \frac{\sum \mu_i}{N} ; \quad \text{(IX)}$$

$$\Delta\bar{\mu} = \frac{\sum |\mu_i - \bar{\mu}|}{N} \quad \text{(X)}$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 EXPERIMENTO 1

Os ângulos foram determinados como sendo:

Ângulo	Medida (Graus)
$\alpha$	46
$\theta$	58

**Tabela 1 - medida ângulo experimento 1**

*Elaborado pelo Compilador*

Já o peso da massa 2 foi determinada como sendo  $M2 = (72,72 \pm 0,01) g$

Com essas informações já é possível determinar  $T_{ab}$  e  $T_{ac}$  por meio da equação (IV).

Assim:

$$T_{ab} = (0,52887 \pm 0,00007)N$$

$$T_{ac} = (0,62350 \pm 0,00009)N$$

Sabendo o valor da aceleração gravitacional sendo  $9.81m/s^2$

Objeto	Massa - experimento 2 (g)	Massa - balança ( $\pm 0,01$ )(g)
P1	$63,558 \pm 0,009$	62,89
P2	$53,911 \pm 0,007$	54,66

***Tabela 2 - Massa determinada por experimento e balança***

*Fonte: Elaborado pelo Compilador*

Os valores não são estatisticamente equivalentes. Um dos motivos para tal erro podem derivar do fato de que os ângulos foram tomados sem margem de erro. Estes possivelmente podem acarretar um erro de 2 graus facilmente, uma vez que as condições do experimento dificultam uma observação precisa desse valor. Tanto a distância do fio ao transferidor, quanto qualquer imperfeição que mantenha o bloco levemente fora da posição ideal pode gerar um erro razoável. Somado ao fato de que o observador é falho e o fio fino e sutil, pode acarretar os erros a tornar o experimento impreciso.

## **3.2 EXPERIMENTO 2**

### **3.2.1 RESULTADOS**

#### **3.2.1.1 MÉTODO 1**

Os dados registrados durante o experimento foram:

i	$\overline{CB_i} (\pm 0,1) (\text{cm})$	$L_i (\pm 0,1) (\text{cm})$	$T_i (\text{N})$	$ T_i - \overline{T}  (\text{N})$
1	13,2	18,0	$0,76 \pm 0,01$	0
2	12,1	17,8	$0,82 \pm 0,01$	0,06
3	13,0	18,2	$0,78 \pm 0,01$	0,02
4	13,6	18,1	$0,74 \pm 0,01$	0,02
5	14,5	18,6	$0,714 \pm 0,009$	0,046

**Tabela 3** - Medidas e dados obtidos experimento 2, método 1

Fonte: Elaborado pelo compilador

$T_i$  é dado pela equação (V). A partir das equações (VI) e (VII) é possível determinar que a tração de rompimento é  $T = (0,76 \pm 0,03) N$ .

### 3.2.1.2 MÉTODO 2

Os dados e extrapolações coletadas estão aqui relacionados:

i	$m_1 (\pm 0,01) (\text{g})$	$T_i (\pm 0,0001) (\text{N})$	$ T_i - \overline{T}  (\text{N})$
1	90,40	0,8868	0,0740
2	91,50	0,8976	0,0848
3	70,40	0,6906	0,1222
4	91,50	0,8976	0,0848
5	70,50	0,6916	0,1212

**Tabela 4** - Medidas e dados obtidos experimento 2, método 2

Fonte: Elaborado pelo compilador

Novamente, a partir das equações (VI) e (VII) é possível determinar a tração de ruptura e o erro associado ao experimento. Assim,  $T = (0,8 \pm 0,1) N$

### 3.2.2 DISCUSSÃO

Neste caso os resultados foram estatisticamente equivalentes, de acordo com (I). Contudo é interessante notar que o método 1 oferece maior precisão na determinação da tensão de ruptura. O segundo leva mudanças bruscas do peso exercido, logo muita coisa pode ser perdida nestes “quantums” de massa. O primeiro oferece uma análise mais interessante pois é mais contínua a mudança da distância, oferecendo uma tensão que sobe continuamente e não em quantidades discretas.

## 3.3 EXPERIMENTO 3

### 3.3.1 RESULTADOS

#### 3.3.1.1 CASO 1 \_ (FELTRO - FÓRMICA)

i	$\delta_{ei}(\pm 1)(^\circ)$	$\mu_{ei}(\pm 0,02)$	$ \mu_{ei} - \overline{\mu_e} $
1	25	0,47	0,02
2	24	0,45	0,04
3	27	0,51	0,02
4	25	0,47	0,02
5	23	0,42	0,07
6	27	0,51	0,02
7	28	0,53	0,04
8	27	0,51	0,02
9	25	0,47	0,02
10	28	0,53	0,04
11	27	0,51	0,02
12	26	0,49	0

13	27	0,51	0,02
14	26	0,49	0
15	25	0,47	0,02
16	25	0,47	0,02
17	26	0,49	0
18	29	0,55	0,06
19	25	0,47	0,02
20	26	0,49	0

**Tabela 5** - Medidas e dados obtidos experimento 3

Fonte: Elaborado pelo compilador

A partir das equações (IX) e (X) é possível determinar que  $\mu = 0,49 \pm 0,02$ .

### 3.3.1.2 CASO 2 \_ (FÓRMICA - FÓRMICA)

i	$\delta_{ei}(\pm 1)(^\circ)$	$\mu_{ei}(\pm 0,02)$	$ \mu_{ei} - \overline{\mu_e} $
1	15	0,27	0,01
2	15	0,27	0,01
3	14	0,25	0,03
4	17	0,31	0,03
5	14	0,25	0,03
6	15	0,27	0,01
7	15	0,27	0,01
8	16	0,29	0,01
9	15	0,27	0,01
10	14	0,25	0,03
11	16	0,29	0,01
12	16	0,29	0,01

13	15	0,27	0,01
14	15	0,27	0,01
15	15	0,27	0,01
16	16	0,29	0,01
17	17	0,31	0,03
18	15	0,27	0,01
19	16	0,29	0,01
20	16	0,29	0,01

***Tabela 6 - Medidas e dados obtidos experimento 3***

*Fonte: Elaborado pelo compilador*

A partir das equações (IX) e (X) é possível determinar que  $\mu = 0,28 \pm 0,02$ .

### **3.2.2 DISCUSSÃO**

Com ambos dados analisados, fica claro que o coeficiente de atrito do feltro é muito maior. Pode-se entender disso então que o material tem maior área de contato efetivo, provendo ao bloco maior resistência ao movimento.

## **4. CONCLUSÃO**

### **4.1 EXPERIMENTO 1**

Pode-se constatar que os valores obtidos não são estatisticamente equivalentes. Contudo é importante notar que não foi estabelecido erro à medida do ângulo que pode ser responsável pelo menos em parte pelo distanciamento dos intervalos determinados pelos dois métodos. Apesar disso os valores são razoavelmente próximos dependendo das intenções do experimento e pode ser adequado para algumas aplicações.

## **4.2 EXPERIMENTO 2**

No experimento dois os dois métodos fornecem resultados satisfatórios. Contudo o segundo método pode se mostrar um pouco limitado para certas aplicações uma vez que é discreta a função que rege o aumento da tensão. Se for o caso de usar massas arbitrariamente pequenas para diminuir este problema o trabalho para realizar o experimento e a margem para erro no experimento aumentam. Conclui-se portanto que o primeiro método pode ser mais simples e preciso dadas as condições certas.

## **4.3 EXPERIMENTO 3**

Ambos casos forneceram resultados coerentes e a relação entre os dois era esperada. É natural imaginar que o feltro tem maior coeficiente de atrito e isso foi confirmado pelo experimento. O erro final parece razoável e dá uma boa precisão para a maior parte das aplicações.

## **5. BIBLIOGRAFIA**

Laboratório de Física I: Livro de práticas/ compilado por José F. Schneider. São Carlos: Instituto de Física de São Carlos, 2017.