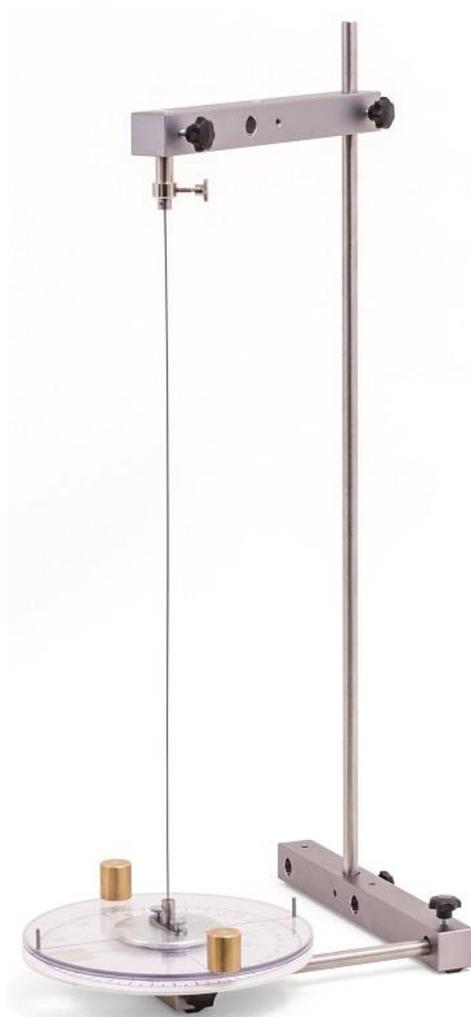


## Aparelho de torsão 1018550 Conjunto de extensão do aparelho de torsão 1018787

### Instruções de uso

11/15 TL/UD



#### 1. Descrição

O aparelho de torsão destina-se à determinação do torque restaurador e do módulo de cisalhamento de barras redondas de metal a partir de medições estáticas do ângulo de torsão e da força de torsão, bem como de medições dinâmicas da duração de oscilação do pêndulo de torsão.

A força de torsão é transmitida por um disco de pêndulo para a amostra de material encaixada e o ângulo de torsão e a força de torsão são medidas com auxílio do disco de escala e um dinamômetro e a duração de oscilação é medida com auxílio de uma fotocélula e um contador digital.

## 2. Conteúdo do fornecimento

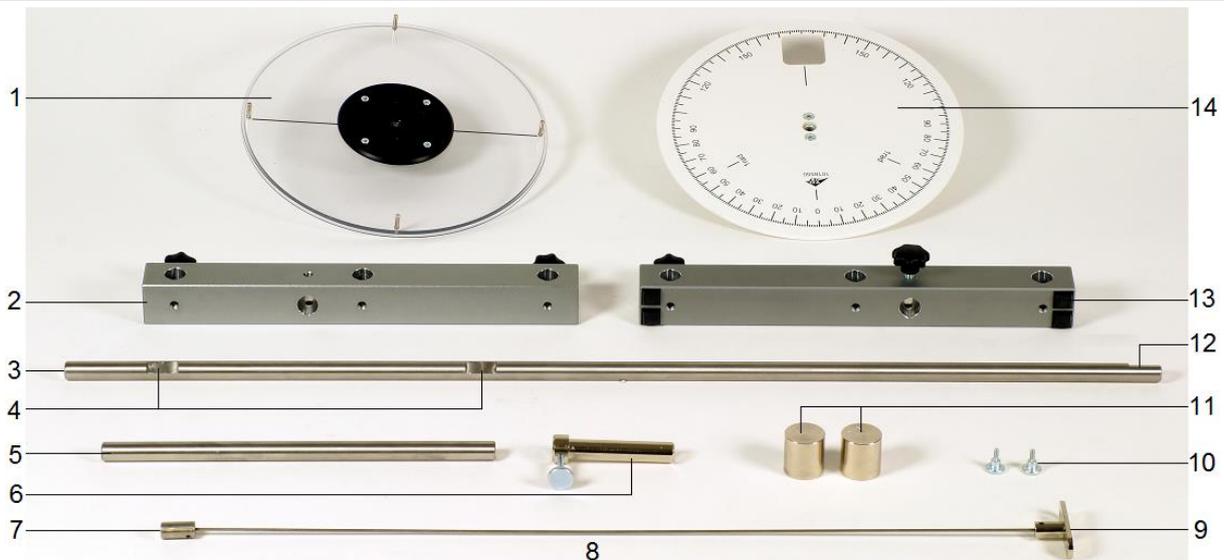


Fig. 1: Conteúdo do fornecimento.

- |  |   |
|--|---|
| 1 disco de pêndulo com 4 pinos de fixação  | 9 retentor da barra redonda                               |
| 2 travessa superior  | 10 parafusos de fixação para retentor                     |
| 3 haste vertical   | 11 pesos de apoio   |
| 4 ranhuras para travessa superior (para barras redondas com comprimento L: 500 mm, 300 mm) | 12 ranhura para travessa inferior                         |
| 5 haste transversal  | 13 travessa inferior (com pés de borracha)                |
| 6 luva de aperto   | 14 disco de escala  |
| 7 cilindro da luva de aperto   | placa de suporte para fotocélula 1000563 (sem ilustração) |
| 8 haste redonda de aço ( $\varnothing$ : 2 mm, L: 500 mm)                                  |   |

O aparelho consiste de um disco de escala com disco de pêndulo ligado por uma haste transversal e uma travessa inferior a uma haste vertical. Uma travessa superior, juntamente com uma luva de aperto, serve como suporte para o pêndulo. A haste vertical possui ranhuras que servem como áreas de aperto para os parafusos de retenção das travessas. A travessa superior e inferior, portanto, ajustam-se automaticamente para a posição correta uma em relação à outra. O disco de pêndulo possui quatro pinos de apoio, sobre os quais podem ser colo-

cados simetricamente em pares, os dois pesos de apoio.

A amostra de material é uma barra redonda de aço com um retentor para fixação no disco de pêndulo em uma das extremidades e um cilindro de luva de aperto para fixação na luva de fixação. O retentor e o cilindro da luva de aperto são fixados à barra redonda com dois parafusos sextavados internos cada.

### 3. Adicionalmente recomendados

- Conjunto de extensão do aparelho de torsão 1018787
- Conteúdo do fornecimento:
- 1 haste redonda de aço ( $\varnothing$ : 2 mm, L: 300 mm)
  - 6 hastes redondas de latão / cobre / alumínio ( $\varnothing$ : 2 mm, L: 300 / 500 mm)
  - 2 hastes redondas de alumínio ( $\varnothing$ : 3 / 4 mm, L: 500 mm)

### 4. Aparelhos adicionalmente necessários

- |                                |         |
|--------------------------------|---------|
| 1 dinamômetro de precisão, 2 N | 1003105 |
| 1 dinamômetro de precisão, 5 N | 1003106 |
| 1 fotocélula                   | 1000563 |
| 1 contador digital @230 V      | 1001033 |
| ou                             |         |
| 1 contador digital @115 V      | 1001032 |

## 5. Dados técnicos

### Aparelho de torsão

Barra redonda

Material: aço  
Comprimento: 500 mm  
Diâmetro: 2 mm

Peso de apoio

Altura: 27 mm  
Diâmetro: 24 mm  
Peso: 100 g

Dimensões: aprox. 700x400x400 mm<sup>3</sup>

Peso: aprox. 2,9 kg

### Conjunto de extensão

Material	Diâmetro	Comprimentos
Latão	2 mm	300 / 500 mm
Cobre		
Alumínio		
Alumínio	3 / 4 mm	500 mm

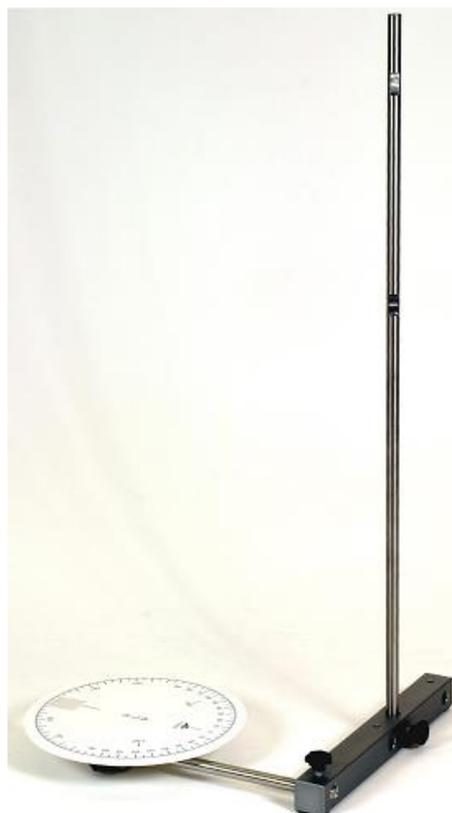


Fig. 3: Montagem da haste vertical.

## 6. Colocação em operação



Fig. 2: Montagem do disco de escala e da travessa inferior na haste transversal.



Fig. 4: Montagem da travessa superior (para barra redonda com L: 500 mm), luva de aperto e disco de pêndulo.



Fig. 5: Fixação da barra redonda no disco de pêndulo com auxílio do retentor e colocação da luva de aperto sobre o cilindro da luva de aperto.

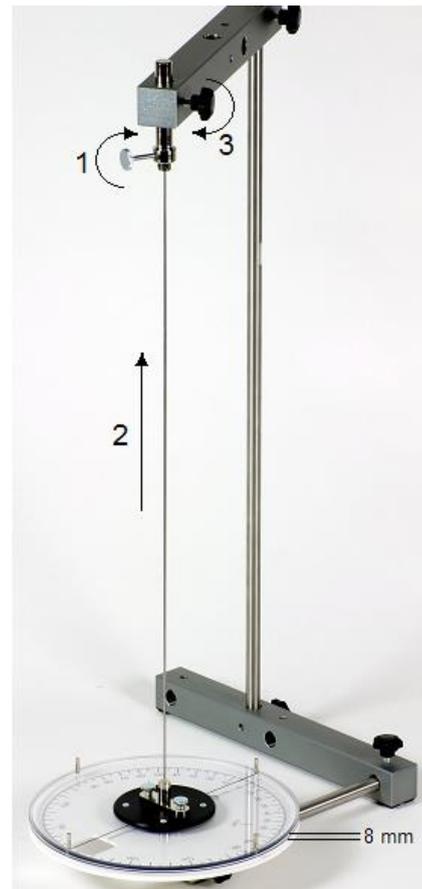


Fig. 6: Fixação da barra redonda na luva de aperto e ajuste da distância de trabalho ( $\approx 8$  mm) entre o disco de pêndulo e o disco de escala.

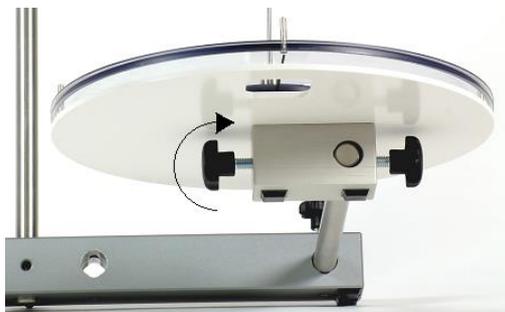


Fig. 7: Fixação do disco de pêndulo.

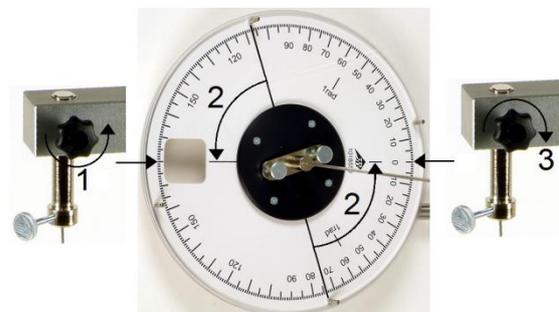


Fig. 8: Ajuste do ponto zero do disco de pêndulo.

### Troca das barras redondas

A retirada das barras redondas do aparelho de torção montado e pronto para a operação ocorre de maneira inversa às etapas de trabalho mostradas na Fig. 6 e Fig. 5, a recolocação ocorre exatamente como mostrado nas Fig. 5 e Fig. 6. A distância de trabalho ajustada inicialmente (etapa de trabalho 2 na Fig. 6) não precisa ser reajustada a cada vez, pois ela não se altera por conta do disco de pêndulo fixado inicialmente (Fig. 7).

## 7. Operação

### 7.1 Medição estática

Na medição estática, um torque com efeito tangencial é transmitido para o disco de pêndulo com auxílio do dinamômetro.

- Ajustar o ponto zero do dinamômetro 5 N.
- Enganchar o dinamômetro 5 N no pino de apoio do disco de pêndulo que se encontra na marcação  $0^\circ$  do disco de escala.
- Puxar o dinamômetro até que a marcação no disco de pêndulo coincida com a marcação 1 rad do disco de escala (Fig. 9). Atentar para que a força exercida pelo dinamômetro sobre o disco de pêndulo aja de forma tangencial. A marcação do disco de pêndulo e o eixo do dinamômetro precisam, para isto, abranger um ângulo de  $90^\circ$ .
- Ler e anotar o valor para a força aplicada no dinamômetro.

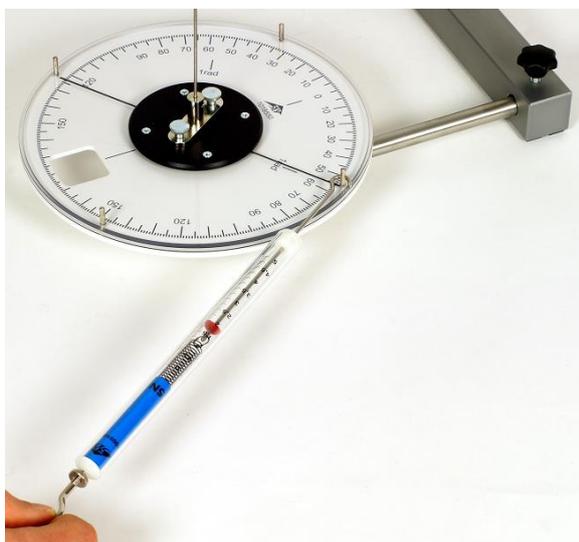


Fig. 9: Medição estática com um dinamômetro.

### Instruções:

Após cada medição, verificar se a marcação no disco de pêndulo ainda coincide com a marcação  $0^\circ$  do disco de escala. Se for o caso, ajustar o disco de pêndulo.

Em caso de utilização de barras redondas do conjunto de extensão, é recomendado selecionar um deslocamento menor conforme comprimento e diâmetro das barras redondas.

### 7.2 Medição dinâmica

- Parafusar a fotocélula 1000563 sobre a placa de suporte para fotocélula. Posicionar a fotocélula fixada à placa de suporte sobre a ranhura no disco de escala um pouco à esquerda ou à direita da marcação no disco de pêndulo (Fig. 10).
- Conectar a fotocélula na entrada A do contador digital. Ajustar o seletor no contador digital para o tipo de operação no símbolo para medição do tempo de período de um pêndulo.
- Deslocar o disco de pêndulo sem pesos de apoio de forma que a marcação no disco de pêndulo coincida com a marcação 1 rad do disco de escala.
- Pressionar "Início" no contador digital e soltar o disco de pêndulo. Ler e anotar o primeiro valor de medição registrado para a duração do período  $T_0$  na tela do contador digital.

### Instruções:

Em caso de utilização de barras redondas do conjunto de extensão, é recomendado selecionar um deslocamento menor conforme comprimento e diâmetro das barras redondas.

As oscilações de torção são, independentemente do comprimento e do diâmetro das barras redondas, fortemente amortecidas, de forma que é recomendado utilizar como valor de medição sempre o primeiro valor registrado e indicado pelo contador digital para a avaliação.

- Colocar os pesos de apoio respectivamente nos pinos de apoio no disco de pêndulo que se encontram nas marcações de  $90^\circ$  do disco de escala e repetir a medição descrita acima. Ler e anotar a duração do período  $T_{02m}$  do pêndulo de torção com pesos de apoio colocados na tela do contador digital.



Fig. 10: Medição dinâmica com uma fotocélula e um contador digital.

## 8. Exemplo de medição

Força  $F$  exercida pelo dinamômetro para deslocar o disco de pêndulo em 1 rad: 2,05 N

Duração do período  $T_0$  de um pêndulo de torção sem pesos de apoio: 461 ms

Duração do período  $T_{02m}$  de um pêndulo de torção com pesos de apoio: 767 ms

## 9. Avaliação

### 9.1 Momentos de inércia dos pesos de apoio

Os pesos de apoio podem ser considerados, em boa aproximação, cilindros plenos, pois os furos para os pinos de apoio podem ser desprezados. O momento de inércia  $J$  de um cilindro pleno é dado por

$$(1) J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 .$$

$m$ : peso do cilindro pleno  
 $r$ : raio do cilindro pleno

Os momentos de inércia  $J_m$  dos pesos de apoio são obtidos a partir do Teorema de Steiner, pois os pesos de apoio oscilam ao redor do eixo do pêndulo na distância  $R = 10$  cm.

$$J_m = J + m \cdot R^2$$

$$(2) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + m \cdot R^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r^2 + 2 \cdot R^2) .$$

O momento de inércia  $J_{2m}$  dos dois pesos de apoio juntos corresponde ao dobro:

$$J_{2m} = 2 \cdot J_m = m \cdot (r^2 + 2 \cdot R^2)$$

$$(3) = 100 \text{ g} \cdot ((12 \text{ mm})^2 + 2 \cdot (10 \text{ cm})^2) .$$

$$= 0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

### 9.2 Medição estática

O dinamômetro exerce, à distância  $R = 10$  cm do eixo do pêndulo, uma força tangencial  $F$  e gera, assim, um torque  $M$ :

$$(4) M = R \cdot F .$$

O torque  $M$  é diretamente proporcional ao deslocamento do pêndulo de torção pelo ângulo  $\varphi$ . A constante de proporcionalidade é o torque restaurador  $D$ :

$$(5) M = D \cdot \varphi .$$

A partir das equações (4) e (5) e do valor de medição de 8., resulta:

$$(6) D = \frac{R \cdot F}{\varphi} = \frac{10 \text{ cm} \cdot 2,05 \text{ N}}{1 \text{ rad}} = 0,205 \text{ Nm} .$$

O módulo de cisalhamento  $G$  é uma constante do material que descreve quantitativamente a deformação linear elástica de um material por força de cisalhamento ou tensão de cisalhamento. Ele é dado para uma barra redonda com comprimento  $L$  e diâmetro  $d$  conforme segue:

$$(7) G = \frac{2 \cdot L \cdot D}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^4} .$$

Para a barra redonda de aço, resulta, assim:

$$(8) G = \frac{2 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 0,205 \text{ Nm}}{\pi \cdot \left(\frac{2 \text{ mm}}{2}\right)^4} = 65,3 \text{ GPa} .$$

O valor está dentro da grandeza do valor de literatura ( $\approx 80$  GPa segundo o tipo de aço).

### 9.3 Medição dinâmica

A duração do período  $T$  do pêndulo de torsão é dada, em geral, conforme segue:

$$(9) T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}} \Leftrightarrow D = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{J}{T^2}.$$

$J$ : momento de inércia

$D$ : torque restaurador

Como o momento de inércia do disco de pêndulo é desconhecido, o torque restaurador é calculado a partir da medição das durações de período  $T_0$  und  $T_{02m}$  sem e com pesos de apoio (vide 7.2 e 8), com momento de inércia conhecido dos pesos de apoio (vide 9.1). A partir da equação (9), conclui-se:

$$(10) D = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{J_{2m}}{T_{02m}^2 - T_0^2}.$$

$J_{2m}$ : momento de inércia dos pesos de apoio

$T_{02m}$ : duração do período com pesos de apoio

$T_0$ : duração do período sem pesos de apoio

Com o momento de inércia calculado em 9.1 dos pesos de apoio e com os valores de medição de 8., resulta, por inserção na equação (10):

$$(11) D = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}{(767 \text{ ms})^2 - (461 \text{ ms})^2} \\ = 0,210 \text{ Nm}$$

O módulo de cisalhamento resulta da equação (7):

$$(12) G = \frac{2 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 0,210 \text{ Nm}}{\pi \cdot \left(\frac{2 \text{ mm}}{2}\right)^4} = 66,8 \text{ GPa}.$$

O valor está dentro da grandeza do valor de literatura ( $\approx 80 \text{ GPa}$  segundo o tipo de aço).

Os valores determinados a partir da medição estática e dinâmica para o torque restaurador  $D$  e o módulo de cisalhamento  $G$  conferem até cerca de 2%.

### 10. Armazenagem, limpeza, eliminação

- Armazenar o aparelho em local limpo, seco e livre de pó.
- Não utilize produtos de limpeza agressivos ou solventes para limpar o aparelho.
- Para a limpeza utilizar um pano suave e úmido.
- A embalagem deve ser eliminada nas dependências locais de reciclagem.
- Em caso que o próprio aparelho deva ser descartado, então este não pertence ao lixo doméstico normal. É necessário cumprir com a regulamentação local.



