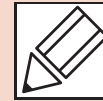


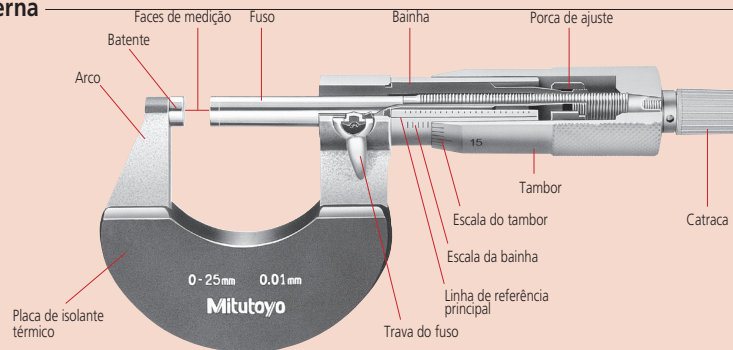
Guia Rápido de Instrumentos de Medição de Precisão



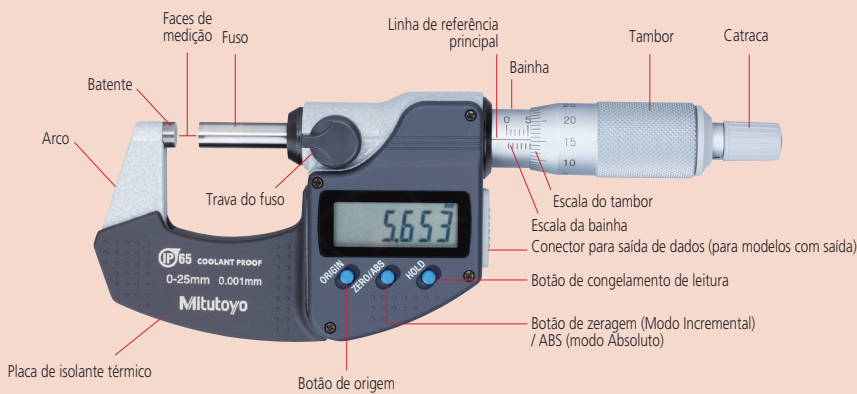
Micrômetro Externo

Nomenclatura

Micrômetro Analógico para Medição Externa

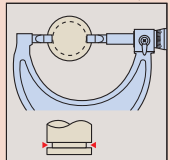


Micrômetro Digital para Medição Externa



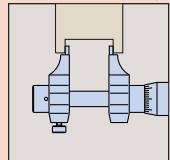
Aplicação de Micrômetros com Pontas Especiais

Micrômetro com Ponta Tipo Faca



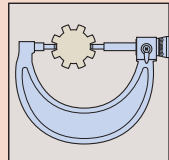
Para medição de ϕ no fundo de canal

Micrômetro Interno Tipo Paquímetro



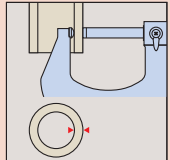
Para medição de ϕ interno ou largura de canal

Micrômetro com Pontas Finas



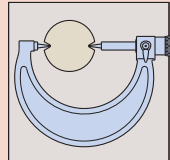
Para medição de ϕ no fundo de eixo estriado

Micrômetro para Tubos



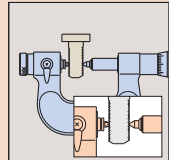
Para medição de espessura de parede em tubo

Micrômetro de Ponta Cônica



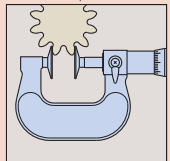
Para medição no fundo de canais em V

Micrômetro para Rosca



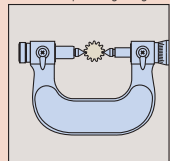
Para medição do diâmetro primitivo de rosças

Micrômetro Tipo Disco



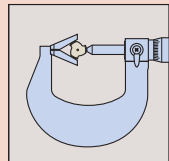
Para medição de dentes em engrenagens retas ou helicoidais

Micrômetro para Engrenagem



Para medição de ϕ primitivo de engrenagem

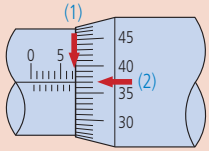
Micrômetro com Batente em V



Para medição de ϕ em ferramentas de corte com 3 ou 5 cortes

■ Como ler a escala

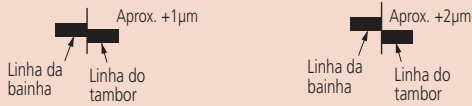
Micrômetro com escala padrão (resolução: 0.01mm)



- (1) Leitura na bainha 7. mm
 (2) Leitura no tambor + 0.37mm
 Leitura no micrômetro 7.37mm

Nota) 0.37 mm (2) é lido no tambor como referência a linha reta horizontal da bainha.

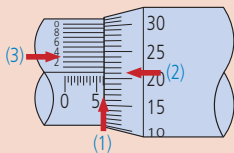
A escala pode ser lida diretamente a 0,01mm como mostrado acima, porém, também deve estimar a 0,001mm quando as linhas estiverem próximas do seu alinhamento, dado que a espessura da linha é de 1/5 do espaço entre elas:



Finalmente deve se acrescentar que a leitura final deste tipo de instrumento deve incluir a terceira casa decimal, isto é: o milésimo. Por exemplo, a leitura do instrumento acima deve ser 7,370mm e não apenas 7,37. Se a linha de referência da bainha estivesse posicionada entre os traços 0,37 e 0,38 a melhor leitura seria 7,375mm.

Micrômetro com nônio (gradação: 0.001mm)

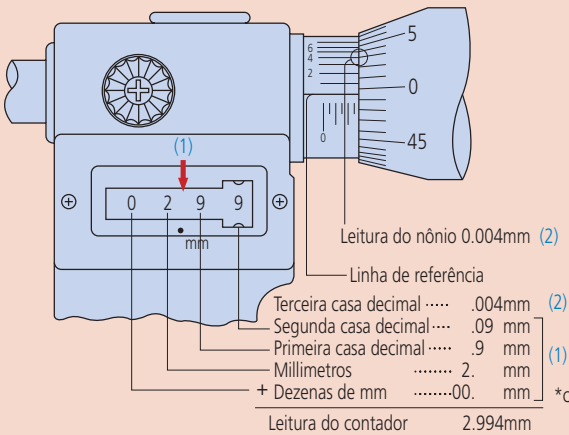
A escala do nônio localizada acima da linha de referência da Bainha permite fazer leituras diretas da casa milésimal.



- (1) Leitura na Bainha 6 mm
 (2) Leitura no tambor + 0.21mm
 (3) Leitura no nônio (o terceiro traço coincide com outro do tambor) + 0.003mm
 Leitura total do micrômetro 6.213mm

Nota) 0,21mm (2) é lido na posição onde a linha indica que está entre duas graduações (21 e 22 neste caso). 0,003mm (3) é lido na posição onde uma das graduações do nônio fica alinhada com uma das graduações do tambor.

Micrômetro com contador digital mecânico (resolução: 0.001mm)

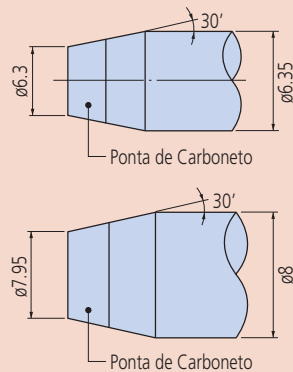


Nota) 0,004mm (2) é lido na posição onde uma das graduações do nônio fica alinhada com uma das graduações do tambor.

■ Dispositivos de força de medição constante

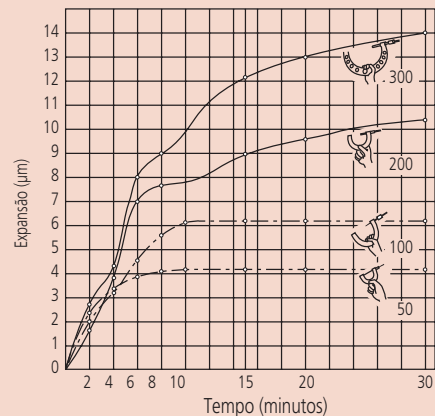
	Operação sonora	Operação com uma mão só	Observações
Catraca	Sim	Inadequada	Cada clique causa o efeito de fazer avançar o fuso. Proporciona confirmação da força constante.
Tambor com fricção (Tipo F)	Não	Adequada	Operação suave sem som de clique.
Tambor com catraca (Tipo T)	Sim	Adequada	Operação audível. Proporciona confirmação da força constante.
Tambor com catraca	Sim	Adequada	Operação audível. Proporciona confirmação da força constante.

■ Formas das superfícies de medição



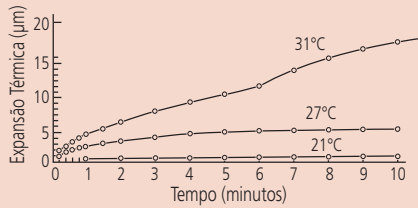
Desenhos apenas orientativos sobre a forma da ponta do fuso. Não estão em escala.

■ Expansão do micrômetro devido à sujeição do arco pelas mãos do operador



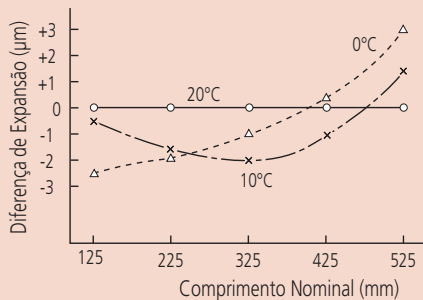
O gráfico acima mostra as curvas da expansão do arco do micrômetro devido à transferência de calor que recebe quando se segura com a mão; como se pode observar, é possível resultar em um significativo erro de medição. Se o micrômetro deve ser segurado com a mão durante a medição, será conveniente reduzir o quanto for possível o tempo de contato. Uma placa isolante de calor reduzirá esse efeito consideravelmente. O uso de luvas poderá ajudar (tenha em conta que o gráfico acima mostra os efeitos típicos, e não assinala qualquer solução).

■ Expansão da barra padrão de ajuste com mudança de temperatura (para barra de 200mm inicialmente a 20°C)



O gráfico experimental acima mostra como uma barra padrão de ajuste de micrômetro em particular se expande com o tempo, quando pessoas cujas temperaturas das mãos são diferentes (como mostrado) seguram a ponta, a uma temperatura ambiente de 20°C. Este gráfico mostra que, para fazer ajustes, é conveniente usar luvas e apoiar ligeiramente a barra de ajuste com isolantes de calor. Ao realizar uma medição, tenha em conta que é preciso de um certo tempo para que a barra de ajuste do micrômetro (expandida) retorne ao seu comprimento original (considere que os valores do gráfico são valores experimentais).

■ Diferença da expansão térmica entre o micrômetro e a barra padrão de ajuste

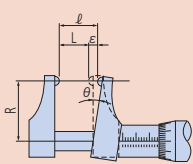


A temperatura foi estabilizada deixando o micrômetro e a barra de ajuste por aproximadamente 24 horas em uma sala a 20°C.

O ponto inicial foi ajustado ao deixar ambos, durante o mesmo período de tempo, sob 0°C e 10°C.

O gráfico mostra os resultados para cada um dos tamanhos de 125 a 525mm para cada temperatura. Este gráfico mostra que tanto o micrômetro como sua barra padrão de ajuste devem ser deixados no mesmo lugar, por várias horas ao menos, antes do ajuste do ponto de início (considere que os valores do gráfico são experimentais).

■ Princípio de Abbe



O princípio de Abbe estabelece que a "exatidão máxima se obtém quando os eixos da escala e da medição são comuns". Isto se deve a que qualquer variação no ângulo relativo (tetha) da ponta de medição de um instrumento, tal como a de um micrômetro tipo paquímetro, causa um deslocamento que não se mede sobre a escala do instrumento e este é o erro de Abbe ($e = l \cdot L$ no diagrama). O erro do movimento angular do fuso na folga com o furo guia e a variação da força de medição podem causar que (ângulo tetha) varie e o erro se incremente conforme a altura R.

■ Erro de medição dependendo da orientação do micrômetro e seu ponto de suporte (Unidade: µm)

Mudar o método de suporte e/ou a orientação de um micrômetro, depois do ajuste a zero, afeta posteriores resultados de medição. As seguintes tabelas ressaltam os erros de medição que se podem esperar em outros três casos, depois que os micrômetros foram ajustados a zero no caso de "Apoiado na base e fixado no centro do arco". Estes resultados mostram que a melhor alternativa é estabelecer e medir com a mesma orientação e método de apoio.

Método de suporte	Apoiado na base e fixado no centro do arco	Sem apoio na base e fixado no centro do arco
Posição		
Comprimento máximo de medição (mm)		
325	0	-5.5
425	0	-2.5
525	0	-5.5
625	0	-11.0
725	0	-9.5
825	0	-18.0
925	0	-22.5
1025	0	-26.0

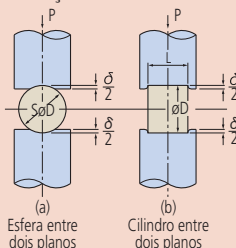
Método de suporte	Fixado no centro em posição lateral	Fixado no centro e virado para baixo
Posição		
Comprimento máximo de medição (mm)		
325	+1.5	-4.5
425	+2.0	-10.5
525	-4.5	-10.0
625	0	-5.5
725	-9.5	-19.0
825	-5.0	-35.0
925	-14.0	-27.0
1025	-5.0	-40.0

■ Lei de Hooke

A Lei de Hooke estabelece que a deformação em um material elástico é proporcional ao esforço que causa a deformação, considerando que a deformação permanece dentro do limite elástico para esse material.

■ Fórmulas de Hertz

As Fórmulas de Hertz dão a redução aparente no diâmetro de esferas e cilindros devido à compressão elástica quando se mede entre superfícies planas. Estas fórmulas são úteis para determinar a deformação de uma peça causada pela força de medição em situações de contato em um ponto e uma linha.



Assumindo que o material é aço e as unidades são como segue:
 Módulo de elasticidade: $E = 205 \text{ GPa}$
 Quantidade de deformação: δ (µm)
 Diâmetro da esfera ou cilindro: D (mm)
 Comprimento do cilindro: L (mm)
 Força de medição: P (N)

- Redução aparente no diâmetro da esfera
 $\delta_1 = 0.82 \sqrt[3]{P^2/D}$
- Redução aparente no diâmetro do cilindro
 $\delta_2 = 0.094 \cdot P \cdot L \sqrt[3]{1/D}$

Principais erros de medição do micrômetro para roscas

Causa do erro	Possível erro máximo	Precauções para eliminar erros	Erro que pode não ser eliminado apesar das precauções
Erro de avanço	3µm	1. Corrigir o micrômetro antes do uso.	±1µm
Erro de ângulo da face da ponta fixa	±5µm supondo que o erro de um ângulo médio é de 15 minutos	1. Medir o erro de ângulo e corrigir o micrômetro. 2. Ajustar o micrômetro usando o mesmo medidor de cordas como peça de trabalho.	±3µm erro de medida esperada de ângulo médio
Pontos de contato desalinhados	+10µm		+3µm
Influência da força de medição	±10µm	1. Usar um micrômetro com baixa força de medição se for possível. 2. Utilizar sempre a catraca. 3. Ajustar o micrômetro usando o mesmo medidor de cordas como peça de trabalho.	+3µm
Erro de ângulo do calibrador de roscas	±10µm	1. Realizar cálculo da correção (ângulo). 2. Corrigir o erro de comprimento. 3. Ajustar o micrômetro usando o mesmo medidor de cordas como peça de trabalho.	+3µm
Erro de comprimento do calibrador de roscas	$\pm \left(3 + \frac{L}{25}\right) \mu\text{m}$	1. Realizar cálculo da correção. 2. Ajustar o micrômetro usando o mesmo medidor de cordas como peça de trabalho.	±1µm
Erro de ângulo da rosca da peça de trabalho	JIS 2 grau de erro do ângulo médio: ±229 minutos -91µm +71µm	1. Minimizar o erro de ângulo tanto quanto seja possível. 2. Medir o erro angular e realizar o cálculo da correção. 3. Utilize o método dos três arames para evitar um erro de ângulo grande	±8µm assumindo que o erro de meio ângulo é ±23 minutos
Erro acumulativo	(±117+40)µm		+26µm -12µm

Diâmetro primitivo na medição de roscas

Método dos três arames

O diâmetro primitivo de uma rosca pode ser medido com o método dos três arames como mostrado na figura. O diâmetro primitivo (E) pode ser calculado usando as fórmulas (1) e (2).

Para roscas métricas ou unificadas (ângulo da rosca 60°):

$$E = M - 3d + 0.866025P \dots (1)$$

Para roscas Whitworth (ângulo da rosca 55°):

$$E = M - 3.16568d + 0.960491P \dots (2)$$

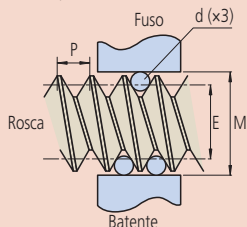
d = Diâmetro médio dos três arames

E = Diâmetro primitivo da rosca

M = Medição sobre os três arames

P = Passo da rosca

(para roscas unificadas o passo em polegadas deve ser convertido ao seu equivalente métrico)



Tipo de rosca	Tamanho ótimo para arame em D
Rosca métrica ou Rosca Unificada (60°)	0.577P
Rosca Whitworth (55°)	0.564P

Principais erros de medição do método dos 3 arames

Causa do erro	Precauções para eliminar erros	Possível erro	Erro que pode não ser eliminado apesar das precauções
Erro de passo (Peça de trabalho)	1. Corrigir o erro de passo ($\sigma_p = \sigma_E$). 2. Meça vários pontos e adote a média. 3. Reduza erros de um só passo.	±18µm assumindo que o erro de passo seja de 0.02 mm.	±3µm
Erro de ângulo médio (peça de trabalho)	1. Usar o melhor diâmetro de arame. 2. Não é necessário fazer correções.	±0,3µm	±0,3µm
Devido à diferença do batente	1. Usar o melhor diâmetro de arame. 2. Use um jogo de arame que tenha um diâmetro próximo à medida média para cima.	±8µm	±1µm
Erro do diâmetro do arame	1. Use a força de medição apropriada para o diâmetro em medição. 2. Utilize a largura predeterminada para a borda de medição. 3. Utilize uma força de medição estável.	-3µm	-1µm
Erro acumulativo		No pior dos casos +20µm -35µm	quando se mede com cuidado +3µm -5µm

Método de um arame para medição do diâmetro primitivo

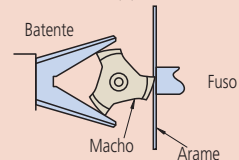
O diâmetro primitivo de um macho com 3 ou 5 lados de corte (ímpar) pode ser medido utilizando um micrômetro com batente em V com o método de um só arame. Deve-se obter o valor de medição (M1) e calcular M com a equação (3) ou (4).

M1 = Leitura do Micrômetro durante a medição com um só arame
D = Diâmetro de um macho com 3 ou 5 lados de corte (ímpar)

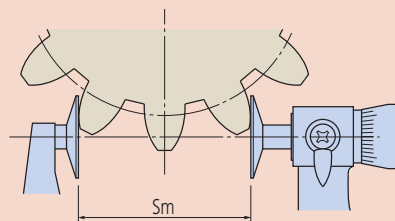
$$\text{Macho com 3 lados de corte: } M = 3M1 - 2D \dots (3)$$

$$\text{Macho com 5 lados de corte: } M = 2.2360M1 - 1.2360D \dots (4)$$

A seguir, atribua a ponta M calculada com a equação (1) ou (2) para calcular o diâmetro primitivo (E).



Comprimento da corda (Sm) sobre Zm dentes



Fórmula para calcular o comprimento da corda (Sm):

$$S_m = m \cos \alpha_0 \{ \pi (Z_m - 0.5) + Z \operatorname{inv} \alpha_0 \} + 2Xm \sin \alpha_0$$

Fórmula para calcular o número de dentes dentro do comprimento da corda (Zm):

$$Z_m' = Z \cdot K(f) + 0.5 \quad (Z_m \text{ é o número inteiro mais próximo a } Z_m')$$

onde, $K(f) = \frac{1}{\pi} \{ \sec \alpha_0 \sqrt{(1+2f)^2 - \cos^2 \alpha_0} - \operatorname{inv} \alpha_0 - 2f \tan \alpha_0 \}$

$$e, f = \frac{X}{Z}$$

m: Módulo

α_0 : Ângulo de pressão

Z: Número de dentes

X: Coeficiente de Addendum

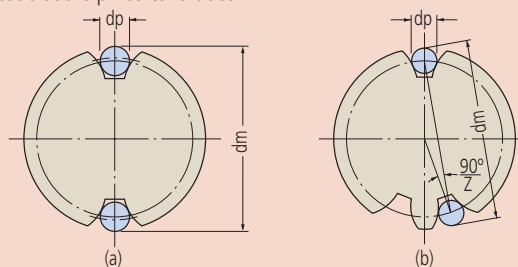
Sm: Comprimento da corda

Zm: Número de dentes dentro do comprimento da corda

$$\begin{aligned} \text{ev } 20^\circ &\cong 0.014904 \\ \text{ev } 14.5^\circ &\cong 0.0055448 \end{aligned}$$

Medição de engrenagem

Método sobre pinos calibrados



Para engrenagem com número par de dentes:

$$d_m = d_p + \frac{d_g}{\cos \theta} = d_p + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta}$$

Para engrenagem com número ímpar de dentes:

$$d_m = d_p + \frac{d_g}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{z} \right) = d_p + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{z} \right)$$

No entanto,

$$\text{ev } \theta = \frac{d_p}{d_g} - \frac{X}{2} = \frac{d_p}{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0} - \left(\frac{\pi}{2z} - \operatorname{inv} \alpha_0 \right) + \frac{2 \tan \alpha_0}{z} \cdot X$$

Obter θ (inv θ) da tabela da função envolvente (ev).

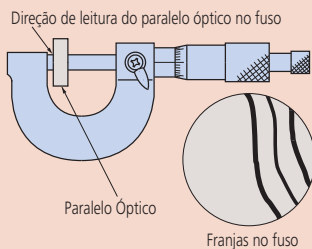
z: Número de dentes

α_0 : Ângulo de pressão de dentes

m: Módulo

X: Coeficiente de modificação de Addendum

■ Verificação do paralelismo das superfícies de medição de micrômetros

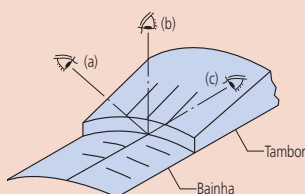


O paralelismo se pode estimar usando um paralelo óptico colocado entre as superfícies de medição. Primeiramente, faça a adesão do paralelo à superfície de medição do batente. Feche o fuso sobre o paralelo usando a força de medição normal da catraca, e conte o número das franjas de interferência vermelhas que se observam sobre a superfície de medição do fuso com luz branca. Cada franja representa a metade da diferença do comprimento de onda em altura ($0,32\mu\text{m}$ por franja vermelha).

Na figura acima, o paralelismo de aproximadamente $1\mu\text{m}$ é obtido de $0,32\mu\text{m} \times 3 = 0,96\mu\text{m}$.

■ Recomendações gerais sobre a utilização de um micrômetro

1. Verifique cuidadosamente o tipo de micrômetro, o curso de medição, o erro máximo permitido e outras especificações para selecionar o modelo mais adequado para realizar a medição desejada.
2. Deixe o micrômetro e a peça a ser medida na temperatura ambiente durante o tempo suficiente para que suas temperaturas se estabilizem, antes de efetuar a medição.
3. Olhe direta e perpendicularmente a linha de referência para fazer a leitura da graduação do tambor. Se as linhas de graduação forem observadas em posição angular, ocorrerá um Erro de Paralaxe.



(c) Olhando por baixo da linha de referência (Errado)

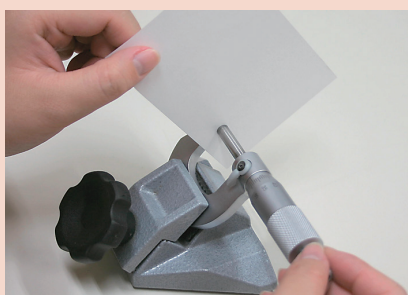


(a) Olhando por cima da linha de referência (Errado)



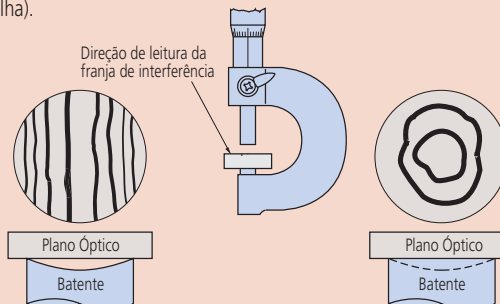
(b) Olhando direta e de frente à linha de referência (Certo)

4. Limpe as superfícies de medição tanto do batente quanto do fuso usando uma folha de papel limpo e livre de fiapos. Primeiramente, prenda a folha de papel com as pontas usando a catraca. A seguir, desloque o papel, sem retirá-lo. Solte o papel abrindo o micrômetro e retire-o. Agora estabeleça o ponto zero.



■ Verificação da planeza das superfícies de medição de micrômetros

A planeza pode ser estimada usando um plano óptico (ou paralelo) aderido a uma superfície. Conte o número das franjas de interferências vermelhas que se observam sobre a superfície de medição com luz branca. Cada franja representa a metade da diferença do comprimento de onda em altura ($0,32\mu\text{m}$ por franja vermelha).

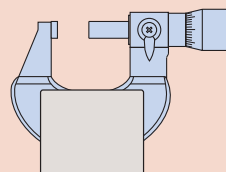


A superfície de medição está curva aproximadamente $1,3\mu\text{m}$. ($0,32\mu\text{m} \times 4$ pares de franjas vermelhas.)

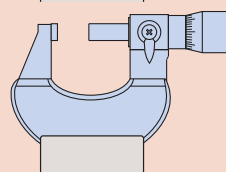
A superfície de medição está côncava (ou convexa) aproximadamente uma profundidade de $0,6\mu\text{m}$. ($0,32\mu\text{m} \times 2$ franjas vermelhas contínuas)

5. Limpe qualquer partícula de pó e sujeira nas faces de medição do batente e fuso como parte da manutenção diária. Limpe também as manchas de impressões digitais de cada parte com um pano limpo e seco.
6. Use a catraca constante e corretamente, de maneira que as medições sejam feitas com a força de medição correta.
7. Ao fixar um micrômetro em um suporte, utilize o centro do arco cuidando para não invadir o espaço livre do instrumento. Não utilize uma força excessiva para prender o instrumento.

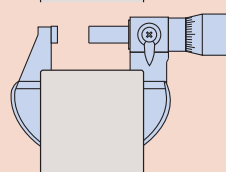
Correto



Errado



Errado



8. Tome cuidado para não deixar cair nem bater o micrômetro em nenhum objeto. Não gire o tambor do micrômetro com força excessiva. Ante qualquer suspeita de que o micrômetro possa ter sofrido algum dano acidental, faça uma inspeção de seu erro antes do uso.
9. Depois de um longo período de armazenamento, ou quando não existir uma camada visível de óleo protetor, faça os procedimentos de limpeza e manutenção adequados.
10. Recomendações sobre o armazenamento:
 - Não guarde o micrômetro onde receba luz solar diretamente.
 - Guarde o micrômetro em um lugar ventilado e com pouca umidade.
 - Guarde o micrômetro em um lugar livre de poeira.
 - Guarde o micrômetro em um estojo ou outro lugar, que não seja o chão.
 - Ao guardar o micrômetro, deixe sempre um espaço de $0,1$ a 1mm entre as faces de medição.
 - Não guarde o micrômetro preso a uma base ou suporte.