



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA**
Campus Joinville

Diretrizes gerais de calibração

Micrômetro externo – Hastes fixas

DG-METEQ-CAL-001-01

DIRETRIZES GERAIS PARA CALIBRAÇÃO DE MICRÔMETRO EXTERNO

1. OBJETIVO

Este documento tem como objetivo apresentar as diretrizes básicas (recomendações) para a calibração de micrômetros externos com batentes fixos e faces de medição planas ou esféricas.

Este documento reúne informações obtidas em normas e documentos reconhecidos, buscando facilitar a interpretação e aplicação deles, auxiliando os laboratórios de calibração na elaboração de procedimentos internos.

2. CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS A SEREM AVALIADAS NA CALIBRAÇÃO

- Erro de indicação (contato total das faces de medição);
- Erro de paralelismo (contato parcial das faces de medição).

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- ISO 3611: 2010 - Geometrical product specifications (GPS) - Dimensional measuring equipment: Micrometers for external measurements - Design and metrological characteristics;
- DIN 863-1: 2017 - Geometrical product specifications (GPS) - Micrometers - Part 1: Micrometers for external measurements; maximum permissible errors;
- ASME B89.1.13-2013, Micrometers. American Society of Mechanical Engineers: New York; 2013;
- Richtlinie DKD-R 4-3 Blatt 10.1: 2010 - Kalibrieren von Messmitteln für geometrische Messgrößen - Kalibrieren von Bügelmessschrauben mit planparallelen oder sphärischen Messflächen. Disponível em: https://www.dakks.de/sites/default/files/dakks-dkd-r_4-3_blat_10.1_20101221_v1.1.pdf;
- David Flack. Good Practice Guide No. 40 - Callipers and micrometers. NPL, 2014. Disponível em: <http://eprintspublications.npl.co.uk/2043/1/mgpg40.pdf>;
- VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Inmetro, 2012. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf;
- EA-4/02 M: 2013 - Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration. Disponível em: <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/ea-4-02-m-rev01-september-2013.pdf>;
- NIT-DICLA-021: Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração. Revisão 10. Dicla/Inmetro, 2020. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/pesquisa_link.asp?seq_tipo_documento=4&cod_uo_numero=00778&num_documento=021.

4. EXEMPLOS DE INSTRUMENTOS CONTEMPLADOS NA DIRETRIZ



Micrômetro externo com faces planas e tambor de fricção



Micrômetro externo com faces esféricas e tambor e catraca

5. DEFINIÇÕES

- a) Valor Convencional (VC): valor atribuído ao padrão utilizado;
- b) Indicação: leitura realizada no micrômetro em calibração;
- c) Erro de indicação: Diferença entre a indicação no micrômetro e o valor convencional (VC);
- d) Erro de Indicação (contato total das faces de medição): Erro de indicação quando o contato total das faces de medição é empregado em qualquer posição da faixa de medição;
- e) Erro de paralelismo (Contato parcial com as faces de medição): Diferença máxima em medições sucessivas usando contato parcial das faces de medição em qualquer posição nas faces de medição, mas no mesmo ponto nominal da faixa de medição do micrômetro.

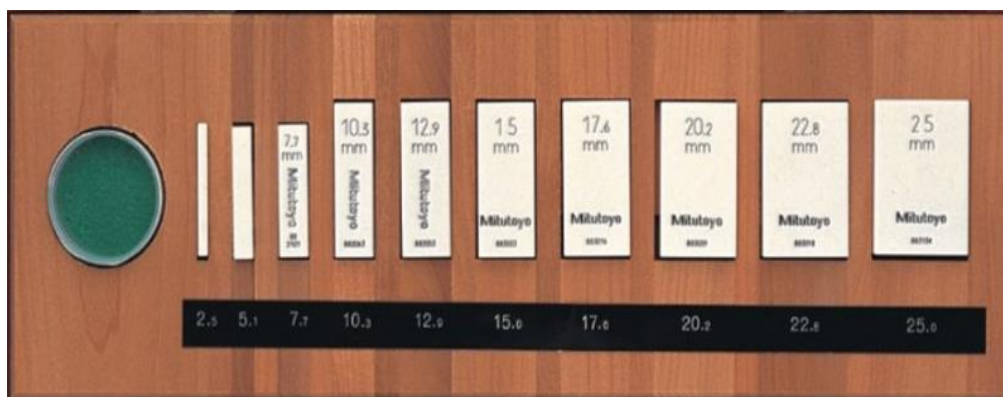
6. CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A calibração do instrumento deve ser realizada à temperatura de referência de 20°C. A recomendação é que a temperatura do mensurando, padrão e das condições ambientais se mantenham na faixa de 20°C ± 1°C.

As alterações e oscilações de temperatura devem ser observadas durante a calibração e incluídas no balanço da incerteza de medição.

7. PADRÕES E ACESSÓRIOS

- a) para determinação do erro de indicação:



Blocos-padrão, conforme ISO 3650

(Fonte: <http://www.mitutoyo.com.br>)



Máquina de medição linear

(Fonte: <http://www.sunpoc.com/En/ULM-670H.html>)

b) para determinação do erro de paralelismo:



Paralelos ópticos

(Fonte: <http://www.mitutoyo.com.br>)



Blocos-padrão

(Fonte: <http://www.wodonis.com.br>)



Esfera-padrão

(Fonte: <https://www.steinle.com>)

c) para verificação da qualidade das faces de medição planas:



Plano óptico

(Fonte: <http://www.hk-co.de>)

8. CONDUÇÃO DA CALIBRAÇÃO

Antes de iniciar a calibração do instrumento, realizar uma inspeção do mesmo no que se refere aos aspectos funcionais e de conservação, por exemplo: qualidade da superfície dos sensores (quando necessário, utilizar um plano óptico para a checagem das faces de medição planas), funcionamento da catraca e trava, folgas no fuso micrométrico, etc.

Na calibração do micrômetro para determinação do erro de indicação, realizar o ajuste de zero ou ajuste de defasagem, quando pertinente.

Para micrômetros externos com faces de medição planas, realizar também a medição do erro de paralelismo.

8.1 Determinação do erro de indicação (contato total das faces de medição)

O erro de indicação do micrômetro é usualmente determinado pela medição de uma série de blocos-padrão, que contemplam indicações no início e final da faixa de medição, e em posições intermediárias.

As dimensões dos blocos-padrão devem ser escolhidas de forma a avaliar o fuso do micrômetro em voltas completas e posições angulares. Para micrômetros com passo de rosca de 0,5 mm e 1 mm, é recomendada a seguinte série de blocos-padrão:

a) 0 - 2,5 - 5,1 - 7,7 - 10,3 - 12,9 - 15,0 - 17,6 - 20,2 - 22,8 e 25 mm;



Para micrômetros com faixa de medição superior a 25 mm, os comprimentos dos blocos-padrão a serem utilizados na calibração são obtidos pela montagem de um bloco-padrão de comprimento igual ao limite inferior da faixa de medição aos blocos-padrão citados na sequência apresentada acima.

8.1.1. Erro de indicação (utilizando máquina de medição linear)

Uma alternativa de calibração para micrômetro com faixas superiores, é determinar o erro de indicação do fuso micrométrico em uma máquina de medição linear. Neste caso, a influência da força de medição deve ser considerada, realizando a medição no início e final da faixa de medição com blocos-padrão.



(Fonte: <http://www.sunpoc.com>)

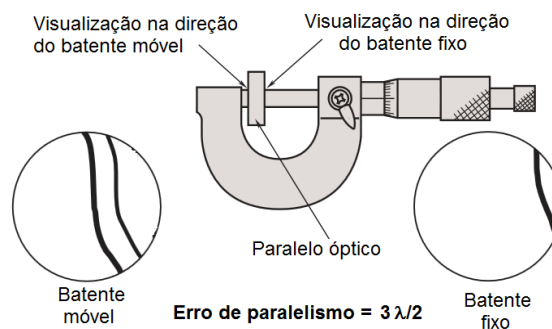
8.2 Determinação do erro de paralelismo

Para micrômetros com faixas de medição de 0 a 25 mm, de 25 a 50 mm, de 50 a 75 mm e 75 a 100 mm, o erro de paralelismo é determinado através da utilização de 3 ou 4 paralelos ópticos (que se diferenciam da espessura em $1/3$ ou $1/4$ do passo da rosca do fuso micrométrico respectivamente).

O paralelo óptico deve ser colocado entre as faces de medição, sob a pressão da catraca ou do acionamento de fricção. Movendo cuidadosamente o paralelo óptico entre as faces, o número de franjas de interferência visíveis em uma das superfícies deve ser reduzido ao mínimo, quando aquelas na superfície oposta devem ser contadas. O erro de paralelismo é obtido através da observação do total de franjas de interferências geradas em ambas as faces de medição.



(Fonte: <http://www.hk-co.de>)

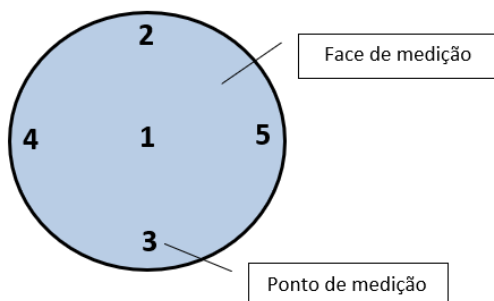


(Fonte: adaptado de <http://www.threadcheck.com>)

8.2.1 Erro de paralelismo (utilizando esfera-padrão ou blocos-padrão)

Uma alternativa para determinação do erro de paralelismo é a utilização de medidas materializadas, como esfera-padrão ou o próprio bloco-padrão. Para o micrometro com faixa de medição de 0 a 25 mm, a recomendação é o uso de esfera-padrão. Neste caso, as medições devem ser realizadas em 4 diferentes posições das faces do micrômetro próximas ao diâmetro externo e uma medição no centro da faixa de medição. Se o micrômetro apresentar um eixo rotativo, este procedimento deve ser previsto em diferentes posições angulares (fuso deslocado em aproximadamente 90°).

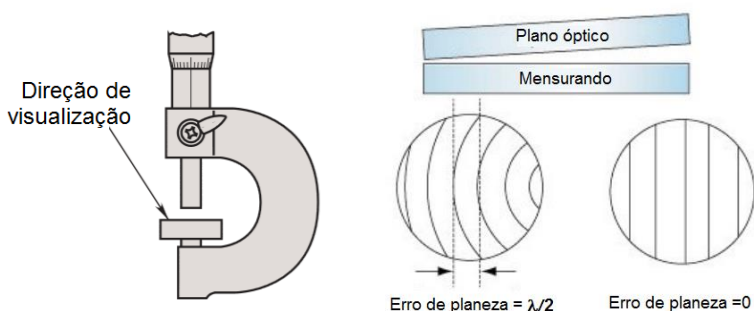
Para faixas de medição maiores, a recomendação é utilizar a borda do bloco-padrão para determinar o erro de paralelismo.



Posições para a medição do erro de paralelismo

8.3 Checagem do erro de planeza

Quando necessário, o erro de planeza de cada face de medição pode ser determinado através da utilização de um plano óptico. Quando essas superfícies estiverem rigorosamente limpas, o plano óptico é colocado em contato com uma superfície de cada vez, buscando minimizar o número de franjas de interferência ou obter círculos concêntricos. A forma das franjas determina o erro de planeza.



(Fonte: adaptado de <http://www.threadcheck.com>)

9. INCERTEZA DE MEDIÇÃO

A incerteza expandida é estimada com base EA-4/02 e NIT DICLA-021.

9.1 Possíveis fontes de Incerteza de Medição na determinação do erro de indicação:

- Repetibilidade;
- Erros não corrigidos e incerteza da calibração dos padrões utilizados;
- Resolução do micrômetro;
- Planeza das faces de medição;
- Diferença de temperatura em relação ao 20° C;
- Diferença de temperatura entre o padrão e o micrômetro;
- Erros não corrigidos e incerteza da calibração do medidor de temperatura.

9.2 Formato da planilha para cálculo da Incerteza de medição

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$	Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
							$u(y):$	$v_{eff}:$
							U:	k:

Legenda: $u(x_i)$ – incerteza padrão de entrada c_i – coeficiente de sensibilidade $u_i(y)$ – contribuição para incerteza padrão v_i – graus de liberdade $u(y)$ – incerteza combinada ou incerteza-padrão de saída v_{eff} – graus de liberdade efetivos N – número de fontes de incerteza k – fator de abrangência para P(95,45%) U – Incerteza expandida de medição	Fórmulas: $u(x_i) = \frac{\text{Valor}}{\text{divisor}}$ $u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$ $u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)}$ $v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$ $U = k \cdot u(y)$
---	---

Apêndice A: Exemplo de calibração de um micrômetro externo analógico com faixa nominal de 0 a 25 mm, com resolução indicada 0,01 mm

A.1.1 Registro da Calibração

		REGISTRO DE CALIBRAÇÃO DO MICRÔMETRO EXTERNO ☒ Analógico ☐ Digital		
1 – DADOS				
Nº do Micrômetro: <i>ME-XXX</i>		Data: <i>XX/XX/20XX</i>		
Faixa de Medição (FM): <i>0 a 25 mm</i>		Nr. Registro: <i>DIM-XXX</i>		
Resolução Indicada: <i>0,01 mm</i>		Resolução adotada: <i>0,001 mm</i>		
Fabricante: <i>XYZ</i>		Executante: <i>Fulano de Tal</i>		
2 – PADRÕES UTILIZADOS		3 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS		
<i>Jogos de Blocos-Padrão</i> <i>Jogo de Paralelos óptico</i>		Temperatura Inicial: <i>20,2°C</i> Temperatura Final: <i>20,5°C</i>		
Realizado ajuste no início da FM? ☐ Sim. Indicação antes do ajuste: _____ mm ☒ Não				
4 – ERROS DE INDICAÇÃO				
V.C. (mm)	M1 (mm)	M2 (mm)	Média (mm)	Erro de Indicação (μm)
0	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,0000</i>	<i>0,0</i>
2,5	<i>2,501</i>	<i>2,502</i>	<i>2,5015</i>	<i>1,5</i>
5,1	<i>5,101</i>	<i>5,103</i>	<i>5,1020</i>	<i>2,0</i>
7,7	<i>7,702</i>	<i>7,703</i>	<i>7,7025</i>	<i>2,5</i>
10,3	<i>10,300</i>	<i>10,300</i>	<i>10,3000</i>	<i>0,0</i>
12,9	<i>12,899</i>	<i>12,900</i>	<i>12,8995</i>	<i>-0,5</i>
15	<i>14,998</i>	<i>14,999</i>	<i>14,9985</i>	<i>-1,5</i>
17,6	<i>17,598</i>	<i>17,598</i>	<i>17,5980</i>	<i>-2,0</i>
20,2	<i>20,200</i>	<i>20,202</i>	<i>20,2010</i>	<i>1,0</i>
22,8	<i>22,800</i>	<i>22,801</i>	<i>22,8005</i>	<i>0,5</i>
25	<i>25,000</i>	<i>24,999</i>	<i>24,9995</i>	<i>-0,5</i>
4.1 – REPETIBILIDADE				
<i>5,101</i>	<i>5,103</i>	<i>5,101</i>	<i>5,102</i>	<i>5,102</i>
Desvio-padrão (μm):				<i>0,84</i>
5 – ERRO DE PARALELISMO				
PARALELO ÓPTICO	Nº DE FRANJAS (face fixa)	Nº DE FRANJAS (face móvel)	ERRO DE PARALELISMO - EPr (μm)	
12	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>0,96</i>	
12,12	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0,64</i>	
12,25	<i>3</i>	<i>0</i>	<i>0,96</i>	
12,37	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>0,64</i>	

A.1.2 Cálculo de Incerteza de Medição

A.1.2.1 Incerteza de medição para o Erro de Indicação (contato total com as faces de medição)

$u_i(y)$, $u(y)$, U em μm

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$	Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
Re	A	0,84	$\sqrt{2}$	0,594 μm	t	1	0,594	4
U_{BL}	B	0,08	2	0,040 μm	N	1	0,040	∞
E_{BL}	B	0,10	$\sqrt{3}$	0,058 μm	R	1	0,058	∞
Res.	B	1,0	$\sqrt{3}$	0,577 μm	R	1	0,577	∞
$E_{T\neq 20^\circ\text{C}}$	B	$1 \times 2,0 \cdot 10^{-6}$	$\sqrt{3} \cdot \sqrt{6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$ ---	---	25000	0,012	∞
$E_{\Delta t}$	B	0,5	$\sqrt{3}$	0,289 $^\circ\text{C}$	R	$\frac{25000}{11,5 \cdot 10^{-6}}$	0,083	∞
							$u(y)$: 0,831	v_{eff} : 15
							U: 1,8	k: 2,18

Detalhamento das fontes de incerteza:

a) Repetibilidade (Re):

$$u(x_i) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

s = desvio-padrão amostral

n = número de medições utilizadas para calcular a média

Distribuição de Probabilidade: t

$$c_i = 1$$

$$v_i = n^* - 1$$

n^* = número de medições utilizadas para calcular o desvio-padrão amostral

b) Incerteza de medição do bloco-padrão (U_{BL}):

$$u(x_i) = \frac{U_{BL}}{k_{BL}}$$

U_{BL} = Incerteza expandida, extraída do certificado de calibração

k_{BL} = fator de abrangência para P(95,45%), extraído do certificado de calibração

Distribuição de Probabilidade: Normal

$$c_i = 1$$

Nota: No caso de $k > 2$, a distribuição de probabilidade é t, e v_i deve ser consultado na respectiva tabela para P(95,45%).

$$v_i = \infty$$

c) Erro do bloco-padrão (E_{BL}):

$$u(x_i) = \frac{E_{BL}}{\sqrt{3}}$$

E_{BL} = Erro do bloco-padrão, extraído do certificado de calibração

Nota: Quando E for significativo, fazer a correção e não considerar no balanço de incerteza de medição

Distribuição de Probabilidade: Retangular

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

d) Resolução adotada do micrômetro (Res)

$$u(x_i) = \frac{Res}{\sqrt{3}}$$

Res = Resolução do micrômetro (menor variação perceptível na indicação)

Distribuição de Probabilidade: Retangular

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

- e) Diferença entre os coeficientes de dilatação linear do padrão e micrômetro, quando a temperatura for diferente de 20°C ($E_{T \neq 20^\circ\text{C}}$)

$$u(x_i) = \frac{\delta\alpha \cdot \Delta T}{\sqrt{6} \cdot \sqrt{3}}$$

$$c_i = L$$

$$v_i = \infty$$

$\delta\alpha$ = diferença entre os coeficientes de dilatação do padrão e micrômetro.

Nota: Para mesmo material, é usual adotar $\delta\alpha = \pm 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

ΔT = Diferença de temperatura em relação ao 20°C.

Nota: É recomendável incluir na diferença de temperatura, o erro de indicação e a incerteza do medidor de temperatura.

L = Dimensão máxima do micrômetro

Distribuição de Probabilidade: -----

- f) Diferença de temperatura entre padrão e micrômetro ($E_{\Delta t}$)

$$u(x_i) = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}}$$

$$c_i = \alpha \cdot L$$

$$v_i = \infty$$

Δt = diferença de temperatura entre padrão e micrômetro.

Nota: É recomendável incluir na diferença de temperatura, a incerteza do medidor de temperatura.

α = média entre os coeficientes de dilatação linear do padrão e do micrômetro.

L = comprimento medido.

Distribuição de Probabilidade: *Retangular*

A.1.2.2 Incerteza de medição para o Erro de Paralelismo

$u_i(y)$, $u(y)$, U em μm

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$	Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
Re	B	0,32	$\sqrt{3}$	0,185 μm	R	1	0,185	∞
U_{PaO}	B	0,06	2	0,030 μm	N	1	0,030	∞
E_{PaO}	B	0,10	$\sqrt{3}$	0,058 μm	R	1	0,058	∞
							$u(y)$: 0,196	v_{eff} : ∞
							U: 0,39	k: 2,00

- a) Repetibilidade (Re):

$$u(x_i) = \frac{\Delta_f}{\sqrt{3}}$$

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

Δ_f = variação na contagem das franjas

Nota: Estimativa de ± 1 franja ($\pm 0,32 \mu\text{m}$).

Distribuição de Probabilidade: *Retangular*

- b) Incerteza de medição do paralelo óptico (U_{PaO}):

$$u(x_i) = \frac{U_{PaO}}{k_{PaO}}$$

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

U_{PaO} = Incerteza expandida, extraída do certificado de calibração

k_{PaO} = fator de abrangência para P(95,45%), extraído do certificado de calibração

Distribuição de Probabilidade: *Normal*

Nota: No caso de $k > 2$, a distribuição de probabilidade é t , e v_i deve ser consultado na respectiva tabela para P(95,45%).

- c) Erro do paralelo óptico (E_{PaO}):

$$u(x_i) = \frac{E_{PaO}}{\sqrt{3}}$$

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

E_{BL} = Erro do paralelo óptico, extraído do certificado de calibração

Distribuição de Probabilidade: *Retangular*

**Calibramax Ltda - Laboratório de Metrologia**

Rua dos Testes, 100

Cidade - UF

Certificado de calibração nº **DIM-XXX**

Folha: 01/02

1 – DADOS:

Solicitante: Exemplus Ltda

Denominação: Micrômetro externo

Faixa Nominal: 0 – 25 mm

Resolução indicada: 0,01 mm

Fabricante: XYZ

Nº do instrumento: ME-XXX

Data de calibração: XX/XX/20XX

2 - DEFINIÇÕES:

Valor Convencional (VC): valor atribuído ao padrão utilizado.

Erro de indicação: Diferença entre o valor medido no micrômetro e o valor convencional do bloco-padrão.

Erro de Indicação (contato total das faces de medição): Erro de indicação quando o contato total das faces de medição é empregado em qualquer posição da faixa de medição.

Erro de paralelismo: Desvio máximo obtido entre as duas faces de medição.

3 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO:

PROC-XXX-XX revisão XX: Calibração de micrômetro – hastes fixas.

Os erros de indicação foram obtidos através da comparação com blocos-padrão, tendo contato total com as faces de medição. Foram realizados dois ciclos de medição.

O erro de paralelismo foi determinado em quatro posições distintas, deslocadas em aproximadamente $\frac{1}{4}$ de volta do fuso, através da utilização de paralelos ópticos.

Não foi realizado ajuste no instrumento de medição.

Condições ambientais: $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ **4 - PADRÃO UTILIZADO:**Jogo de blocos-padrão (P-XXX), calibrado em XX de XXX de 20XX, por *ReferenciaPlus* – Certificado de calibração – RF-XXX. Próxima calibração: XX/20XX.Jogo de paralelos ópticos (P-XXX), calibrado em XX de XXX de 20XX, por *ReferenciaPlus* – Certificado de calibração – RF-XXX. Próxima calibração: XX/20XX.**5 - RESULTADOS:**

Característica	Maior valor medido (μm)	U (μm)	k	v_{eff}
Erro de paralelismo	1,0	0,4	2,00	∞
Erro de Indicação (contato total das faces de medição)	2,5	1,8	2,18	15



Calibramax Ltda - Laboratório de Metrologia

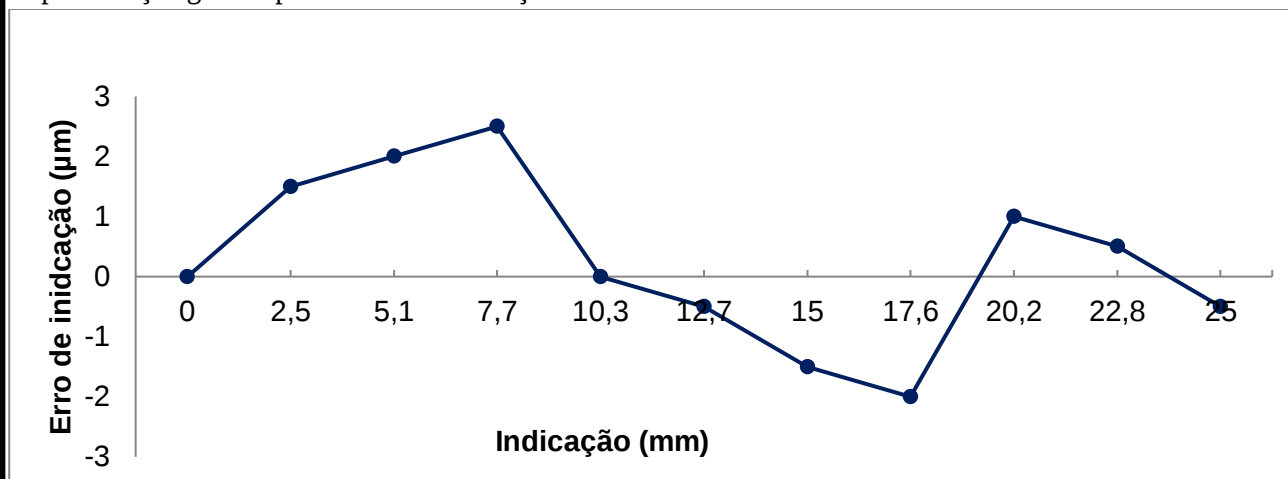
Rua dos Testes, 100

Cidade - UF

Certificado de calibração n° **DIM-XXX**

Folha: 02/02

Representação gráfica para o erro de indicação:



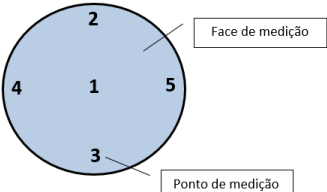
6 – OBSERVAÇÕES:

Notas:

- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k (apresentado acima), de tal forma que a probabilidade de abrangência corresponda a aproximadamente 95%.
- Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
- Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.

Apêndice B: Exemplo de calibração de um micrômetro externo digital com faixa nominal de 75 a 100 mm, com resolução de 0,001 mm.

B.1.1 Registro da Calibração

		REGISTRO DE CALIBRAÇÃO DO MICRÔMETRO EXTERNO				
		☐ Analógico ☒ Digital				
1 – DADOS						
Nº do Micrômetro: <i>ME-XXX</i>				Data: <i>XX/XX/20XX</i>		
Faixa de Medição (FM): <i>75 a 100 mm</i>				Nr. Registro: <i>DIM-XXX</i>		
Resolução Indicada: <i>0,001 mm</i>				Resolução adotada: <i>-----</i>		
Fabricante: <i>XYZ</i>				Executante: <i>Fulano de Tal</i>		
2 – PADRÕES UTILIZADOS				3 – Condições ambientais		
<i>Jogos de Blocos-Padrão</i> <i>Jogos de Paralelos óptico</i> <i>Máquina de medição linear</i>				Temperatura Inicial: <i>20,2°C</i> Temperatura Final: <i>20,5°C</i>		
Realizado ajuste no início da FM? ☒ Sim. Indicação antes do ajuste: <i>75,003 mm</i> ☐ Não						
4 – ERROS DE INDICAÇÃO NOS EXTREMOS DA FAIXA DE MEDIÇÃO						
VC Bloco-padrão (mm)	M1 (mm)	M2 (mm)	M3 (mm)	M4 (mm)	Média (mm)	Erro de Indicação: (μm)
75	<i>75,000</i>	<i>74,999</i>	<i>75,000</i>	<i>74,999</i>	<i>74,9995</i>	<i>-0,5</i>
100	<i>100,000</i>	<i>100,001</i>	<i>100,001</i>	<i>100,001</i>	<i>100,0008</i>	<i>0,8</i>
Desvio-padrão (μm):			<i>0,540</i>	σ _i :		<i>6</i>
5 – ERROS DE INDICAÇÃO DO FUSO						
Indicação (mm)	VC1 (mm) Máquina	VC2 (mm) Máquina	VC - Média Máquina	Erro de Indicação (μm)		
75	<i>75,0000</i>	<i>75,0000</i>	<i>75,0000</i>	<i>0,0</i>		
77,5	<i>77,5002</i>	<i>77,5000</i>	<i>77,5001</i>	<i>-0,1</i>		
80,1	<i>80,1005</i>	<i>80,1004</i>	<i>80,1004</i>	<i>-0,4</i>		
82,7	<i>82,7001</i>	<i>82,7003</i>	<i>82,7002</i>	<i>-0,2</i>		
85,3	<i>85,3000</i>	<i>85,3003</i>	<i>85,3002</i>	<i>-0,2</i>		
87,9	<i>87,8996</i>	<i>87,8998</i>	<i>87,8997</i>	<i>0,3</i>		
90	<i>89,9995</i>	<i>89,9995</i>	<i>89,9995</i>	<i>0,5</i>		
92,6	<i>92,5994</i>	<i>92,5995</i>	<i>92,5994</i>	<i>0,6</i>		
95,2	<i>95,1993</i>	<i>95,1992</i>	<i>95,1992</i>	<i>0,8</i>		
97,8	<i>97,7995</i>	<i>97,7994</i>	<i>97,7994</i>	<i>0,6</i>		
100	<i>99,9992</i>	<i>99,9994</i>	<i>99,9993</i>	<i>0,7</i>		
Desvio-padrão (μm):		<i>0,120</i>	σ _i :		<i>10</i>	
6 – ERRO DE PARALELISMO						
Bloco-Padrão (mm)	Posições de medição (mm)					
	1	2	3	4	5	
<i>75</i>	<i>75,000</i>	<i>75,001</i>	<i>74,999</i>	<i>75,000</i>	<i>75,000</i>	
						

B.1.2 Cálculo de Incerteza de Medição

B.1.2.1 Incerteza de medição para o Erro de Indicação do fuso (medidas realizadas na máquina)

$u_i(y)$, $u(y)$, U em μm

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$	Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
Re	A	0,120	$\sqrt{2}$	0,085 μm	t	1	0,085	10
U_{MML}	B	0,2	2	0,1 μm	N	1	0,1	∞
E_{MML}	B	0,6	$\sqrt{3}$	0,346 μm	R	1	0,346	∞
Res.	B	0,5	$\sqrt{3}$	0,289 μm	R	1	0,289	∞
$E_{T \neq 20^\circ\text{C}}$	B	$1 \times 2,0 \cdot 10^{-6}$	$\sqrt{3} \cdot \sqrt{6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$ ---	---	25000	0,012	∞
$E_{\Delta t}$	B	0,5	$\sqrt{3}$	0,289 $^\circ\text{C}$	R	$\frac{25000}{11,5 \cdot 10^{-6}}$	0,083	∞
							$u(y)$: 0,477	$v_{\text{eff}} > 50$
							U: 1,0	k: 2,00

Detalhamento das fontes de incerteza:

a) Repetibilidade (Re):

s_p = desvio-padrão amostral combinado

$$u(x_i) = \frac{s_p}{\sqrt{n}} \quad s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{k}}$$

s_i = desvio-padrão obtidos na indicação i

n = número de medições utilizadas para calcular a média

Distribuição de Probabilidade: t

k = número de posições calibradas

$$c_i = 1$$

$$v_i = k(n - 1)$$

b) Incerteza de medição da máquina de medição linear (U_{MML}):

U_{MML} = Incerteza expandida, extraída do certificado de calibração

k_{MML} = fator de abrangência para $P(95,45\%)$, extraído do certificado de calibração

Distribuição de Probabilidade: *Normal*

Nota: No caso de $k > 2$, a distribuição de probabilidade é t , e v_i deve ser consultado na respectiva tabela para $P(95,45\%)$.

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

c) Erro da máquina de medição linear (E_{MML}):

E_{MML} = Erro da máquina de medição linear, extraído do certificado de calibração

Nota: Quando E for significativo, fazer a correção e não considerar no balanço de incerteza de medição

$$u(x_i) = \frac{E_{\text{MML}}}{\sqrt{3}}$$

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

Distribuição de Probabilidade: *Retangular*

d) Resolução adotada do micrômetro (Res)

Inc = Incremento digital do micrômetro

$$u(x_i) = \frac{(Inc/2)}{\sqrt{3}}$$

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

Distribuição de Probabilidade: *Retangular*

- e) Diferença entre os coeficientes de dilatação linear do padrão e micrômetro, quando a temperatura for diferente de 20°C ($E_{T \neq 20^\circ\text{C}}$)

$$u(x_i) = \frac{\delta\alpha \cdot \Delta T}{\sqrt{6} \cdot \sqrt{3}}$$

$\delta\alpha$ = diferença entre os coeficientes de dilatação do padrão e micrômetro.

Nota: Para mesmo material, é usual adotar $\delta\alpha = \pm 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

ΔT = Diferença de temperatura em relação ao 20°C.

Nota: É recomendável incluir na diferença de temperatura, o erro de indicação e a incerteza do medidor de temperatura.

$$c_i = L$$

L = comprimento medido.

$$v_i = \infty$$

Distribuição de Probabilidade: -----

- f) Diferença de temperatura entre padrão e micrômetro ($E_{\Delta t}$)

$$u(x_i) = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}}$$

Δt = diferença de temperatura entre padrão e micrômetro.

Nota: É recomendável incluir na diferença de temperatura, a incerteza do medidor de temperatura.

α = média entre os coeficientes de dilatação linear do padrão e do micrômetro.

$$c_i = \alpha \cdot L$$

L = comprimento medido.

$$v_i = \infty$$

Distribuição de Probabilidade: *Retangular*

B.1.2.2 Incerteza de medição para o Erro de Paralelismo

$u_i(y)$, $u(y)$, U em μm

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$	Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
Res _a	B	0,5	$\sqrt{3}$	0,289 μm	R	1	0,289	∞
Res _b	B	0,5	$\sqrt{3}$	0,289 μm	R	1	0,289	∞
							$u(y)$: 0,409	v_{eff} : ∞
							U: 0,8	k: 2,00

Resolução adotada do micrômetro (Res)

$$u(x_i) = \frac{(Inc/2)}{\sqrt{3}}$$

Inc = Incremento digital do micrômetro

$$c_i = 1$$

Distribuição de Probabilidade: *Retangular*

$$v_i = \infty$$

Nota: Sendo o erro de paralelismo determinada pela máxima diferença entre os pontos medidos, a resolução do micrometro foi considerada duas vezes.

B.1.2.3 Incerteza de medição para o Erro de Indicação (contato total com as faces de medição)

$u_i(y)$, $u(y)$, U em μm

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$	Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
Re	A	0,54	$\sqrt{4}$	0,270 μm	t	1	0,270	6
U _{BL}	B	0,10	2	0,050 μm	N	1	0,050	∞
E _{BL}	B	0,12	$\sqrt{3}$	0,069 μm	R	1	0,069	∞
Res.	B	0,5	$\sqrt{3}$	0,289 μm	R	1	0,289	
$E_{T \neq 20^\circ\text{C}}$	B	$1 \times 2,0 \cdot 10^{-6}$	$\sqrt{3} \cdot \sqrt{6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$ ---	---	100000	0,047	∞
$E_{\Delta t}$	B	0,5	$\sqrt{3}$	0,289 $^\circ\text{C}$	R	100000. $11,5 \cdot 10^{-6}$	0,332	∞
							$u(y)$: 0,523	v_{eff} : >50
							U: 1,1	k: 2,00

Detalhamento das fontes de incerteza:

- a) Repetibilidade (R_e): similar a B.1.2.1 a)
 - b) Incerteza de medição do bloco-padrão (U_{BL}): similar a A.1.2.1 b)
 - c) Erro do bloco-padrão (E_{BL}): similar a A.1.2.1 c)
 - d) Resolução adotada do micrômetro (R_{es}): similar a B.1.2.1 d)
 - e) Diferença entre os coeficientes de dilatação linear do padrão e micrômetro, quando a temperatura for diferente de 20°C ($E_{T \neq 20^\circ C}$): similar a A.1.2.1 e)
 - f) Diferença de temperatura entre padrão e micrômetro ($E_{\Delta t}$): similar a A 1.2.1 f)
-



Calibramax Ltda - Laboratório de Metrologia

Rua dos Testes, 100

Cidade - UF

Certificado de calibração nº **DIM-XXX**

Folha: 01/02

1 – DADOS:

Solicitante: Exemplus Ltda

Denominação: Micrômetro externo

Faixa Nominal: 75 – 100 mm

Resolução: 0,001 mm

Fabricante: XYZ

Nº do instrumento: ME-XXX

Data de calibração: XX/XX/20XX

2 - DEFINIÇÕES:

Valor Convencional (VC): valor atribuído ao padrão utilizado.

Erro de indicação: Diferença entre o valor medido no micrômetro e o valor convencional do bloco-padrão.

Erro de Indicação (contato total das faces de medição): Erro de indicação quando o contato total das faces de medição é empregado em qualquer posição da faixa de medição;

Erro de paralelismo (Contato parcial com as faces de medição): Diferença máxima em medições sucessivas usando contato parcial das faces de medição em qualquer posição nas faces de medição, mas no mesmo ponto nominal da faixa de medição do micrômetro.

3 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO:

PROC-XXX-XX revisão XX: Calibração de micrômetro – hastes fixas.

Os erros de indicação do fuso do micrômetro foram obtidos através da comparação com a máquina de medição linear, sendo realizado o contato somente na face móvel do micrômetro. Foram realizados dois ciclos de medição, sendo feito o “*preset*” na máquina de medição linear em valor igual à indicação nominal do início da faixa de medição do micrômetro.

Os erros de indicação nas indicações inicial e final (contato total das faces de medição) foram obtidos através da comparação com blocos-padrão. Foram realizados quatro ciclos de medição.

O erro de paralelismo foi determinado utilizando 75 mm em 5 posições distintas nas faces de medição.

Foi realizado ajuste da indicação no início da faixa de medição do micrômetro, antes da calibração. A medida obtida antes do ajuste foi de 75,003 mm (Erro de indicação de +0,003 mm).

Condições ambientais: 20°C ± 1°C

4 - PADRÃO UTILIZADO:

Jogo de blocos-padrão (P-XXX), calibrado em XX de XXX de 20XX, por *ReferenciaPlus* – Certificado de calibração – RF-XXX. Próxima calibração: XX/20XX.

Jogo de paralelos ópticos (P-XXX), calibrado em XX de XXX de 20XX, por *ReferenciaPlus* – Certificado de calibração – RF-XXX. Próxima calibração: XX/20XX.

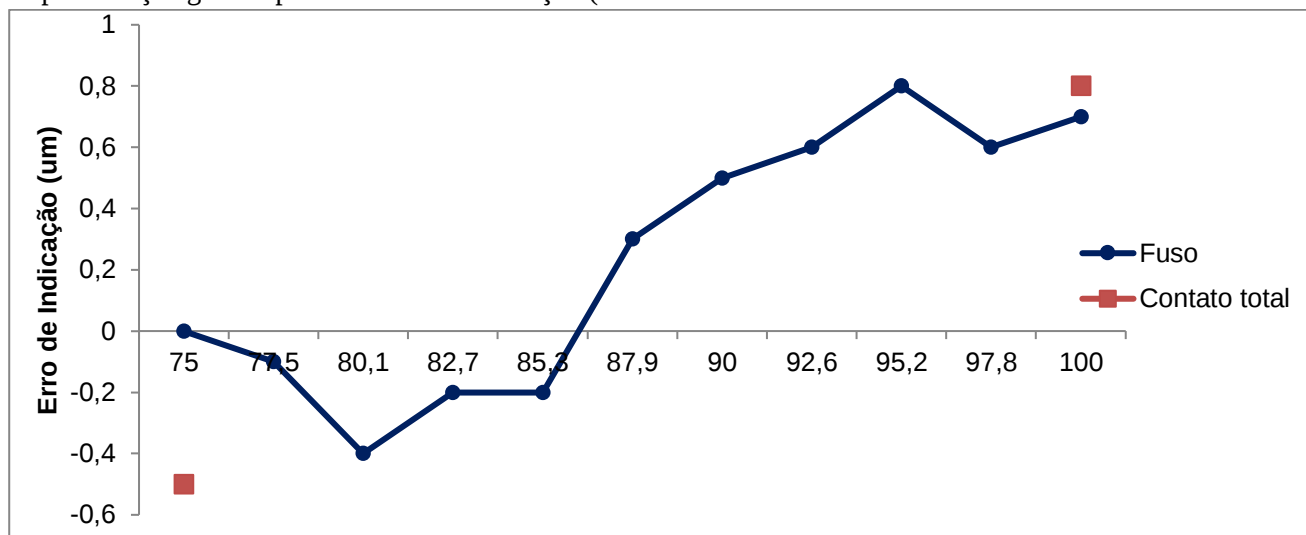
Máquina de medição linear (P-XXX), calibrada em XX de XXX de 20XX, por *ReferenciaPlus* – Certificado de calibração – RF-XXX. Próxima calibração: XX/20XX.



5 - RESULTADOS:

Característica	Maior valor medido (μm)	U (μm)	k	v_{eff}
Erro de paralelismo	2,0	0,8	2,00	∞
Erro de indicação do fuso	0,8	1,0	2,00	∞
Erro de indicação (contato total com as faces de medição)	0,8	1,1	2,00	∞

Representação gráfica para os erros de indicação (fuso):



Nota: Os erros de indicação (contato total com as faces de medição) representados pelos pontos foram obtidos pela medição direta com blocos-padrão.

6 – OBSERVAÇÕES:

Para o cálculo de incerteza de medição do erro de indicação (contato total com as faces de medição) foi incluída a fonte de incerteza devido à influência da força de medição.

Para o cálculo de incerteza de medição do erro de indicação (contato parcial com as faces de medição) foram incluídas as fontes de incerteza devido ao erro de paralelismo e planeza das faces de medição.

Notas:

- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k (apresentado acima), de tal forma que a probabilidade de abrangência corresponda a aproximadamente 95%.
- Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
- Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.