

EPRIP003 – Metrologia

01

Introdução





Prof. Rogerio Fernandes Brito - <https://rogbrito.unifei.edu.br/>

Formação Acadêmica

- 1994 – Graduação em Engenharia Mecânica com ênfase em Projeto de Fabricação – EFEI
- 1999 – Mestrado em Engenharia Mecânica – Conversão de Energia – EFEI
- 2005 – Doutorado em Engenharia Mecânica – Conversão de Energia – UNIFEI

Experiências: profissional como docente e como Pesquisador Bolsista (FAPEMIG/CNPq/CAPES)

- Professor substituto na área de Fenômenos de Transporte e Máquinas de Fluxo entre Junho e novembro de 2005 – UNIFEI
- Engenheiro Pós-Doutor trabalhando em Projeto de Pesquisa - 2005 – 2007: - Processo CNPq 310602/2005-0 - Desenvolvimento de Ferramentas Computacionais e Procedimentos de Cálculos para Turbinas a Vapor – UNIFEI
- Pós-doutorado com Bolsa da FAPEMIG: Pesquisador em Pós-doutorado Júnior - 2006 – 2007: – Projeto de processo FAPEMIG TEC APQ 00547/08 - Estudo de Técnicas de Problemas Inversos em Transferência de Calor e Estimação de Propriedades Térmicas
- Pós-doutorado com Bolsa da CAPES - 2007-2009: //// 1) projeto de Pós-Doutorado CAPES (Edital MEC/CAPES/e MCT/FINEP/CNPq nº 034/2007 - Programa Nacional de Pós-Doutorado - PNPD 2007) - Processo CAPES nº 0365084 (Pesquisador responsável) ou CAPES PNPD 2081/2008 - Projeto de Apoio à Pós-Graduação e Fortalecimento dos Grupos de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica; //// 2) Projeto de Processo CNPq 301415/2008-0 - Estimação de Propriedades Termofísicas e Investigação de Técnicas de Problemas Inversos em Transferência de Calor



Critérios de avaliação

Nota N1

Nota 1 = 100% da nota da prova escrita 1

Nota N2

Nota 2 = 100% da nota da prova escrita 2

Frequencia mínima para aprovação

Frequência mínima é 75%

Projetos de Extensão

Adicional de 0,5 ponto na N2 por *podcast* realizado no Tatu Valente 2.1 (idem para o Gato Preto 2.1). Ver em <https://www.rogbrito.com/>



Cronograma de aulas teóricas

- Aulas na quarta-feira das 10:05 – 11:55 (Local: Anexo 3 - sala 8)

Calendário 2026

janeiro						
D	S	T	Q	Q	S	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

fevereiro						
D	S	T	Q	Q	S	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28

março						
D	S	T	Q	Q	S	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

abril						
D	S	T	Q	Q	S	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

maio						
D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

junho						
D	S	T	Q	Q	S	S
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

julho						
D	S	T	Q	Q	S	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

agosto						
D	S	T	Q	Q	S	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

setembro						
D	S	T	Q	Q	S	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

Prova 1 (N1)

20/05/2026

Prova 2 (N2)

24/06/2026

Prova Substitutiva

08/07/2026



Conteúdo

Conteúdo programático

1. Introdução à metrologia.
2. Conversão de Unidades.
3. Paquímetro.
4. Micrômetro.
5. Erro de Sistemas de Medição.
6. Blocos Padrão.
7. Resultados de Medição Direta.
8. Resultados de Medição Indireta.
9. Controle Geométrico, Tolerâncias e Ajuste.

Visão detalhada no SIGAA



Bibliografia

Básica



1. ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André Roberto de. Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial. ISBN 9788520421161. Manole. 2010.

2. LIRA, Francisco Adval. Metrologia na Indústria. 9. Ed. ISBN 9788536503899. Érica. 2013



3. BINI, Edson; RABELLO, Ivone D. A Técnica da Ajustagem. ISBN 8528905284. Hemus. 2004;



Bibliografia

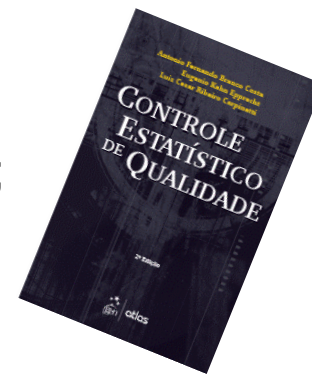
Complementar

1. FIALHO, Arivelto Bustamante. Instrumentação industrial. 7ª. ISBN 9788571949225. Érica. 2011.



2. ALVES, José Luiz Loureiro. Instrumentação, controle e automação de processos. 2ª. ISBN 9788521617624. LTC. 2012.

3. COSTA, Antonio Fernando Branco; EPPRECHT, Eugenio Kahn; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Controle estatístico de qualidade. 2ª. ISBN 9788522441563. Atlas. 2012.





Bibliografia

Complementar



4. BARBETTA, Pedro Alberto; REIS, Marcelo Menezes; BORNIA, Antonio Cezar. Estatística para cursos de engenharia e informática. 3ª. ISBN 9788522459940. Atlas. 2010.

5. ROSS, Sheldon. Probabilidade. 8. Ed. ISBN 9788577806218. Bookman. 2010





EPRi004 - Laboratório de Metrologia

Aula 01 - Controle Geométrico e Condições Ambientais

Prof. Dr. Rogério Fernandes Brito (IEI/UNIFEI)

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3904933874349969>

2026.1

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Importância de Medir

Metrologia é a ciência da medição e está presente em diversas atividades do dia a dia.

Exemplos:

Supermercado: produtos vendidos por peso.

Combustível: volume abastecido é medido.

Internet e telefone: cobrança baseada no consumo.

Compras: comparação de preços baseada em medidas.



Importância de Medir

2. Na Saúde

- **Equipamentos médicos:** metrologia garante precisão em termômetros, balanças e medidores de pressão.
- **Dosagem de medicamentos:** doses corretas são essenciais para a segurança do paciente.



Importância de Medir

3. Na Indústria

- **Controle de qualidade:** garante que produtos atendam aos padrões.
- **Calibração de instrumentos:** assegura precisão e confiabilidade das medições.
- **Inovação e segurança:** reduz desperdícios e aumenta a segurança no trabalho.

Resumo:

A metrologia está presente do cotidiano à indústria e é essencial para a qualidade de vida.





METROLOGIA NA ÁREA DA SAÚDE:

1. **Termômetro:** verificar a temperatura do corpo.
2. **Esfigmomanômetro:** Verificar pressão arterial.
3. **Eletrocardiógrafo:** Coletar, amplificar e desenhar um sinal cardíaco.
4. **Oxímetro:** Mensuração da quantidade de oxigênio no sangue.

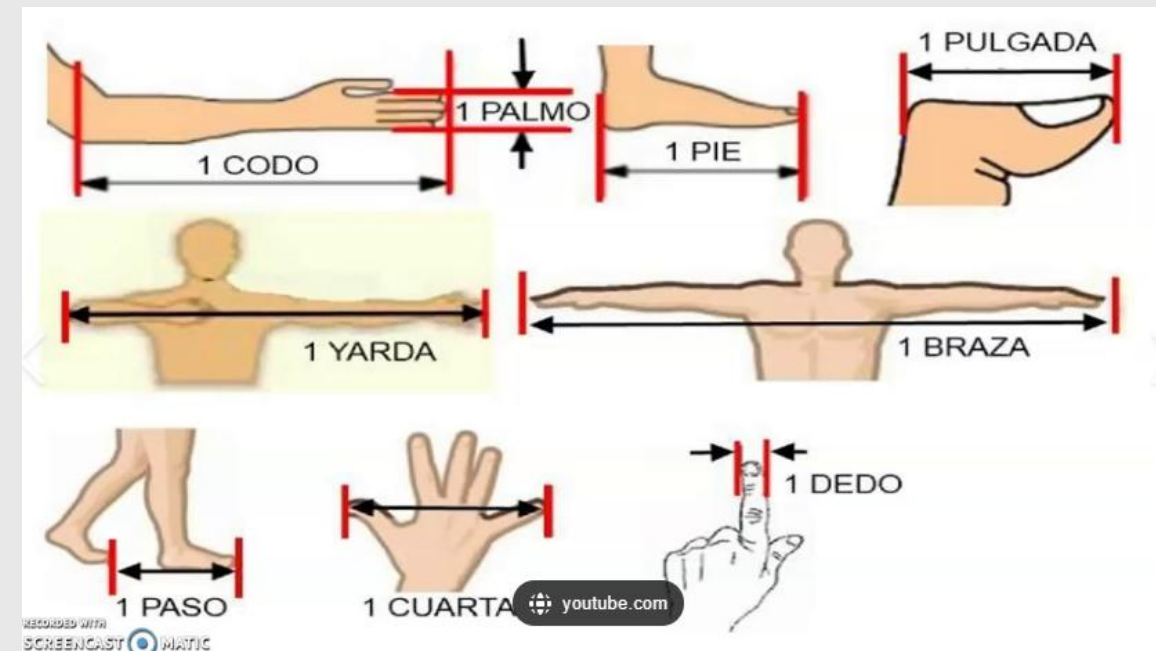
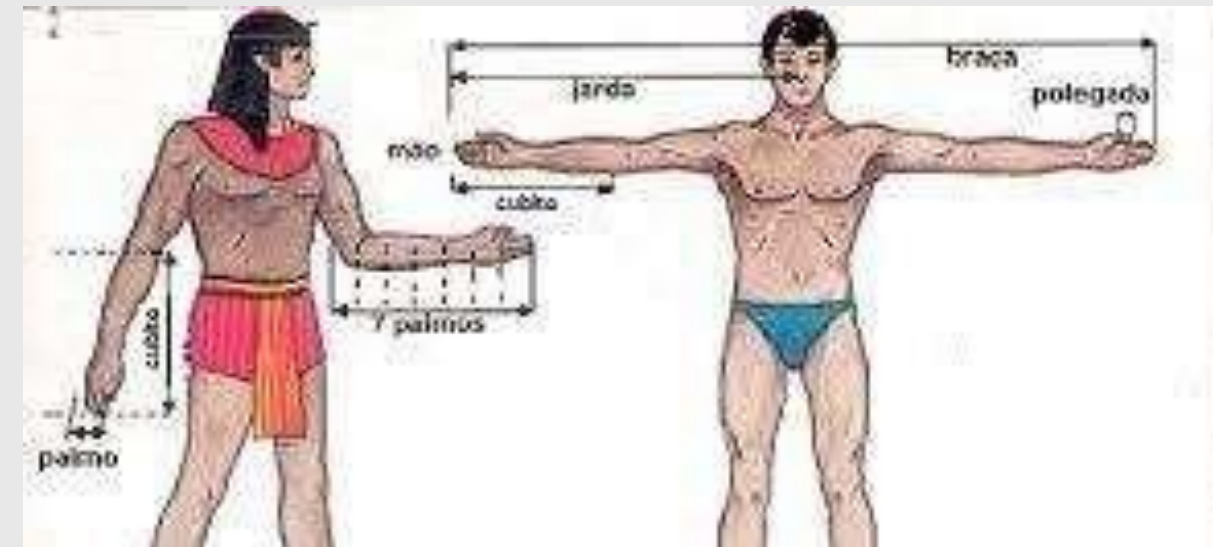


Medição de comprimento:

As medidas de comprimento permitem quantificar distâncias e dimensões, sendo fundamentais para comparar tamanhos e calcular áreas e volumes.

Exemplos de unidades:

- **Múltiplos do metro:** km (1000 m), hm (100 m), dam (10 m).
- **Submúltiplos:** dm (0,1 m), cm (0,01 m), mm (0,001 m).
- **Outras unidades:** polegada, palmo e pé.



1 polegada = 2,54 cm
1 pé = 30,48 cm
1 jarda = 91,44 cm

A figura ilustra antigas unidades de medida baseadas no corpo humano, utilizadas antes da padronização do sistema métrico.

Nessas formas de medição, partes do corpo serviam como referência para estimar comprimentos no cotidiano. Entre as unidades representadas estão:

Polegada: largura aproximada do polegar.

Palmo: distância entre a ponta do polegar e a ponta do dedo mínimo com a mão aberta.

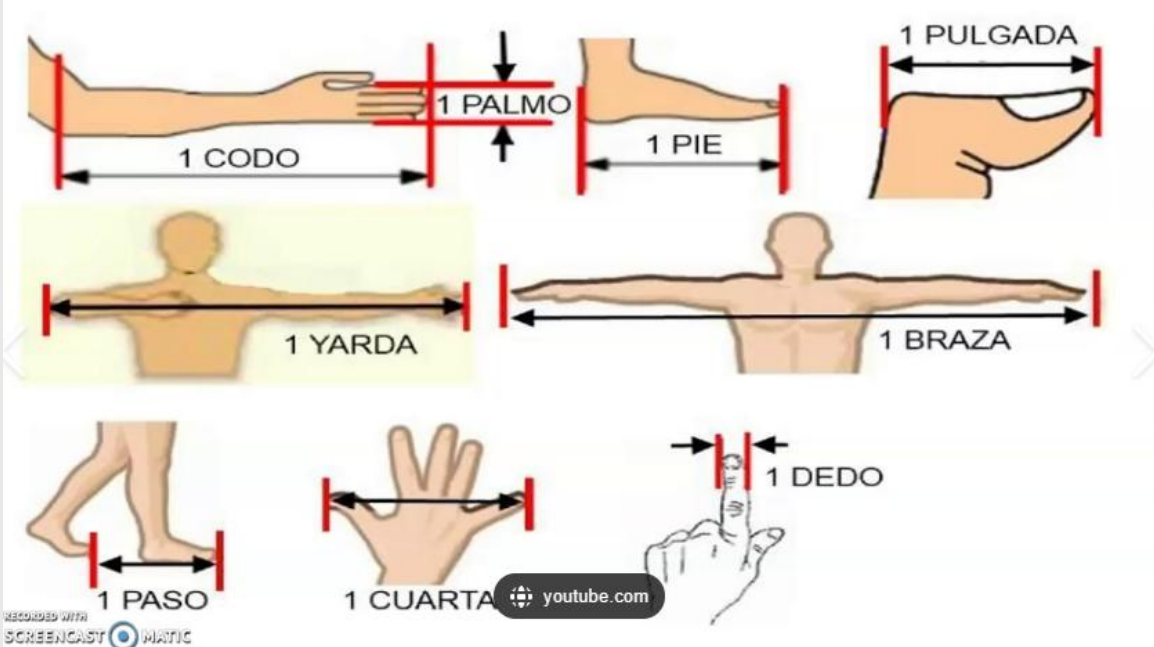
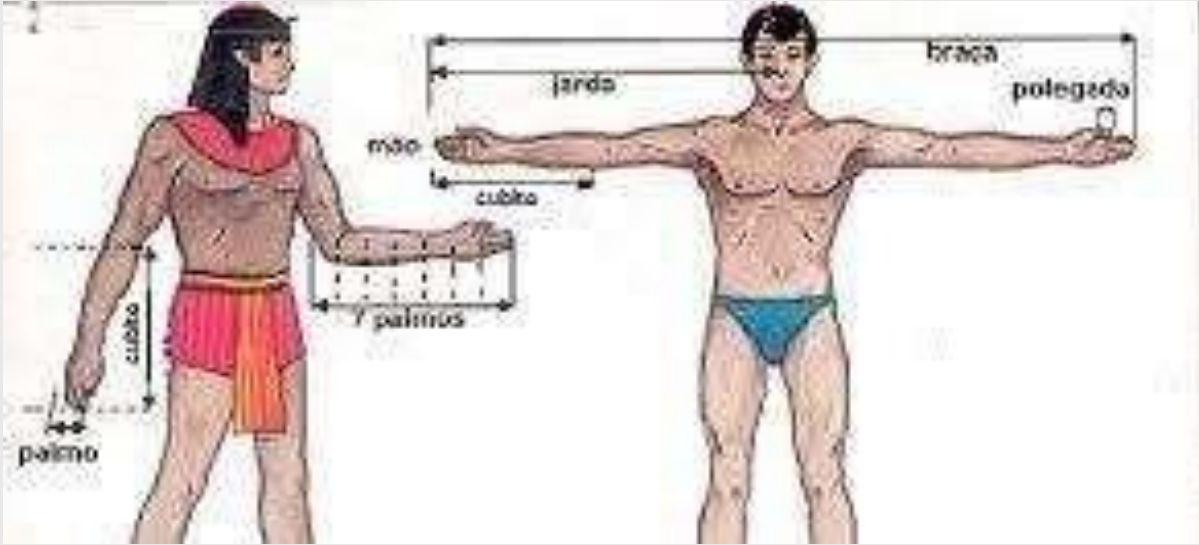
Codo (côvado): distância do cotovelo até a ponta da mão.

Pé: comprimento aproximado de um pé humano.

Passo: distância percorrida em um passo.

Braça: distância entre as extremidades das mãos com os braços totalmente abertos.

Jarda: medida semelhante à distância entre os braços estendidos de uma pessoa.



1 polegada = 2,54 cm
1 pé = 30,48 cm
1 jarda = 91,44 cm

Dedo: largura aproximada de um dedo da mão.

Cuarta (ou quarto): medida associada à abertura parcial da mão.

A figura também apresenta algumas equivalências no sistema métrico, mostrando a conversão dessas unidades tradicionais para centímetros:

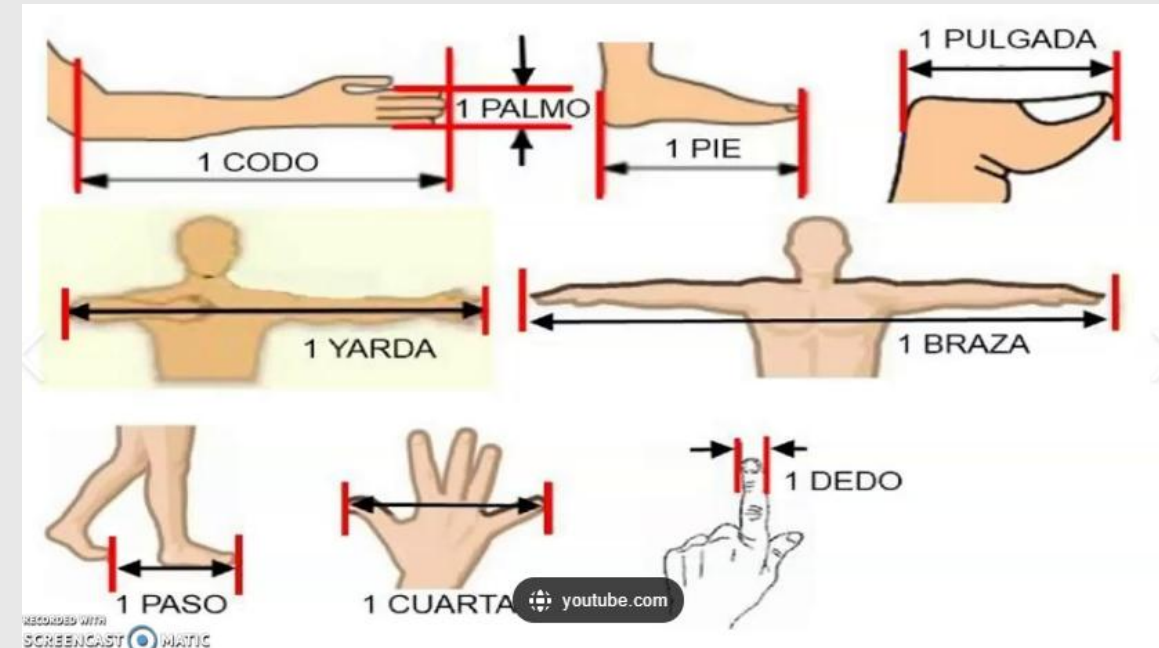
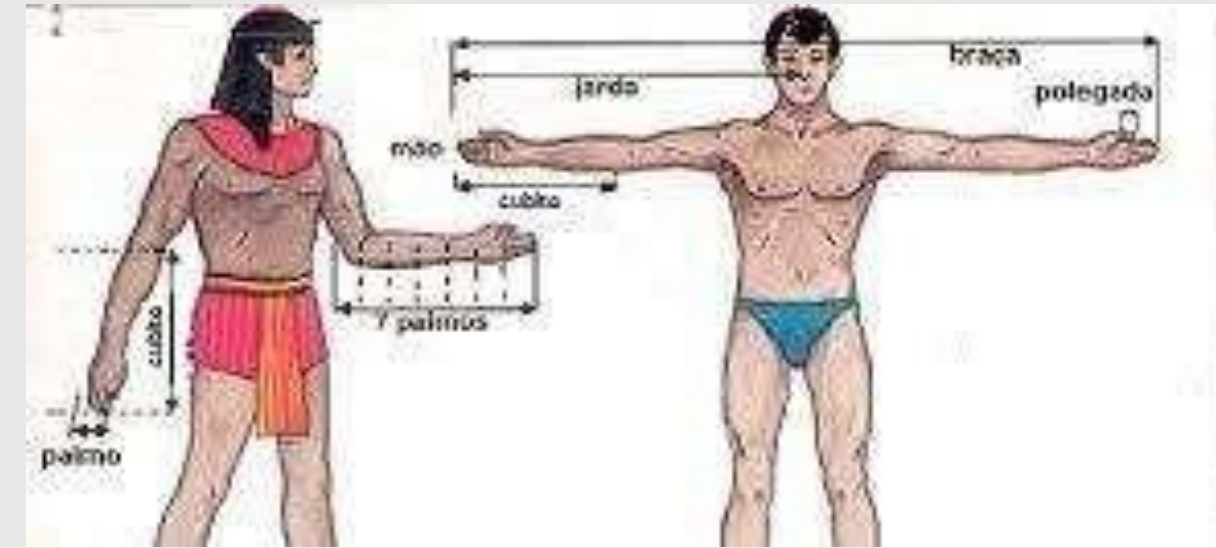
1 **polegada** = 2,54 cm;

1 **pé** = 30,48 cm;

1 **jarda** = 91,44 cm.

Essa representação mostra que, no passado, as medidas eram baseadas no corpo humano, gerando variações e imprecisões.

Por isso surgiram sistemas padronizados, como o **Sistema Internacional de Unidades (SI)**.



1 polegada = 2,54 cm
1 pé = 30,48 cm
1 jarda = 91,44 cm

Controle Geométrico

1. **Dimensão:** medidas básicas do objeto (comprimento, largura, altura, espessura).
2. **Comprimento:** distância linear entre dois pontos.
3. **Ângulo:** inclinação entre linhas ou superfícies.
4. **Forma:** configuração geral do objeto (esférica, cúbica, cilíndrica).
5. **Circularidade:** grau de aproximação de um círculo perfeito.
6. **Cilindricidade:** uniformidade de uma superfície cilíndrica.
7. **Retilidade:** verificação se uma linha é reta.
8. **Planeza:** verificação se uma superfície é plana.



Controle Geométrico

9. Perpendicularidade: verifica se duas linhas ou superfícies formam 90° .

10. Rugosidade: irregularidades microscópicas da superfície.

11. Posição: localização de um objeto em relação a um sistema de referência.

12. Coordenadas: valores que definem a posição de um ponto (x, y, z).

13. Posicionamento: precisão da posição de um objeto dentro das tolerâncias.

Resumo: Esses conceitos garantem qualidade, precisão e conformidade nos processos industriais.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Paquímetros (analógico e digital)

Quais as medidas possíveis com o paquímetro?



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

Quais as medidas possíveis com o paquímetro?

Com o **paquímetro** é possível realizar principalmente **quatro tipos de medições**:

1. Medição externa

1. Utilizando os **bicos externos**.
2. Ex.: diâmetro de eixos, espessura de chapas, largura de peças.

2. Medição interna

1. Utilizando as **orelhas (bicos internos)**.
2. Ex.: diâmetro interno de furos ou tubos.

3. Medição de profundidade

1. Utilizando a **vareta de profundidade**.
2. Ex.: profundidade de furos, cavidades ou rasgos.

4. Medição de ressalto (degrau)

1. Utilizando as **faces para medição de degraus**.
2. Ex.: diferença de altura entre duas superfícies.

✓ **Resumo:**

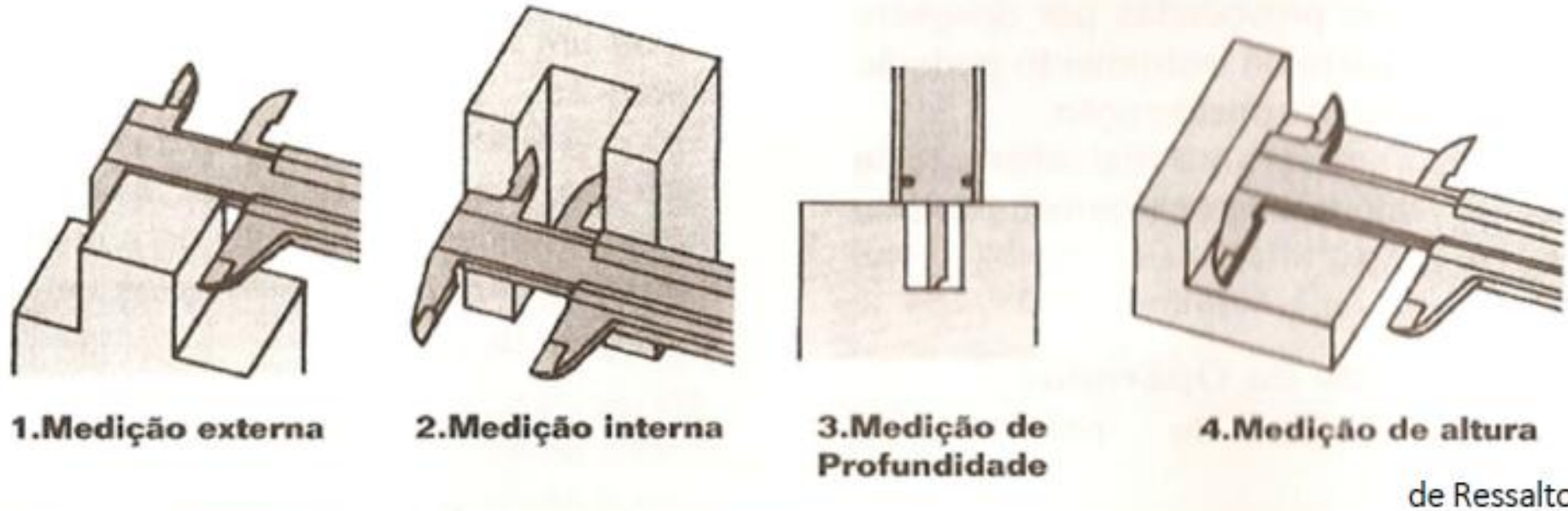
O paquímetro permite medir **dimensões externas, internas, profundidades e degraus (ressaltos)** de uma peça.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

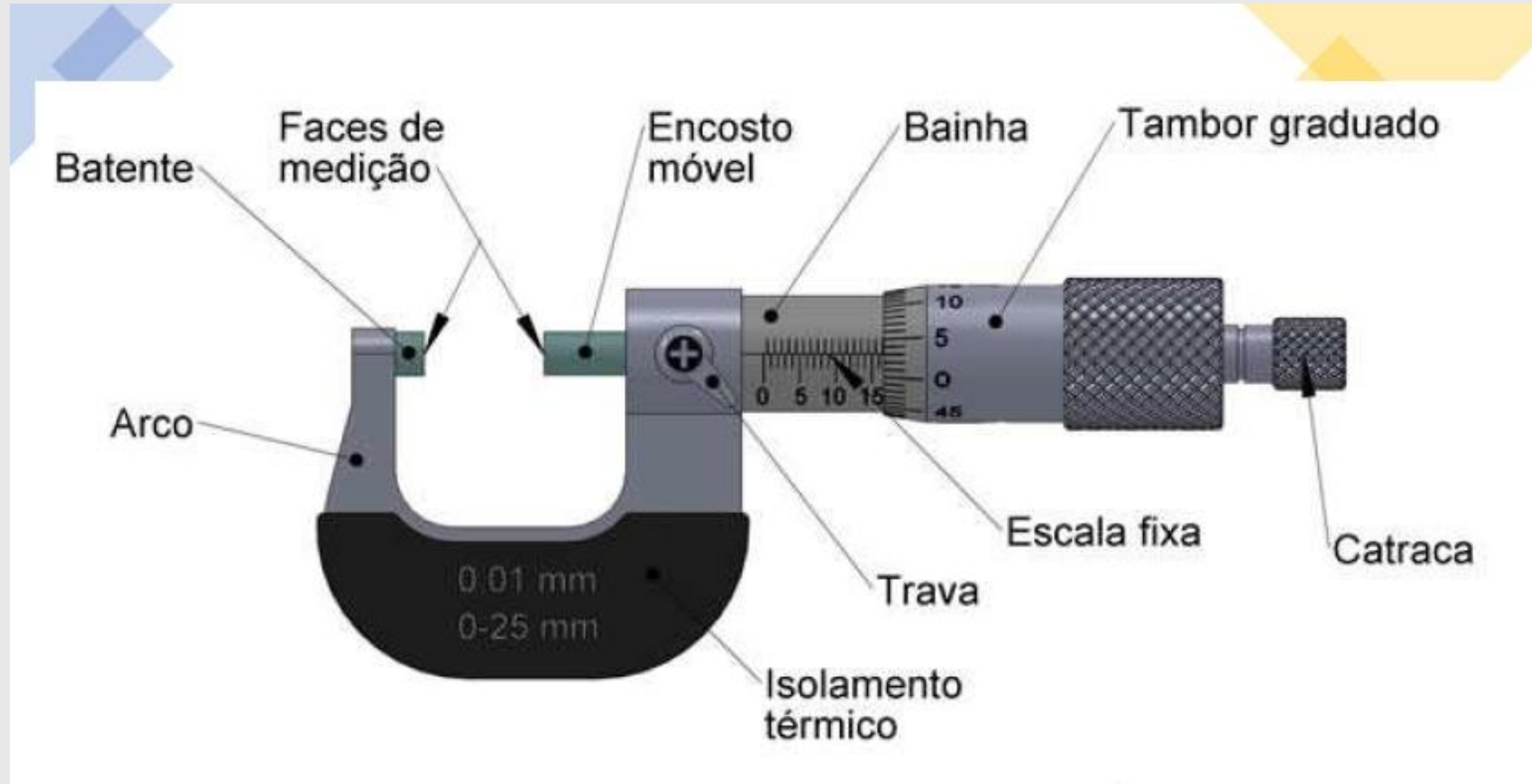
- Paquímetros (analógico e digital)

Quatro recursos de acesso ao lugar da medida (quadrimensional)



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Micrômetros (analógico e digital)**



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



Quais as medidas possíveis com o micrometro?

O **micrômetro** é um instrumento de alta precisão utilizado principalmente para medir **dimensões muito pequenas**. As medições mais comuns são:

Medição externa

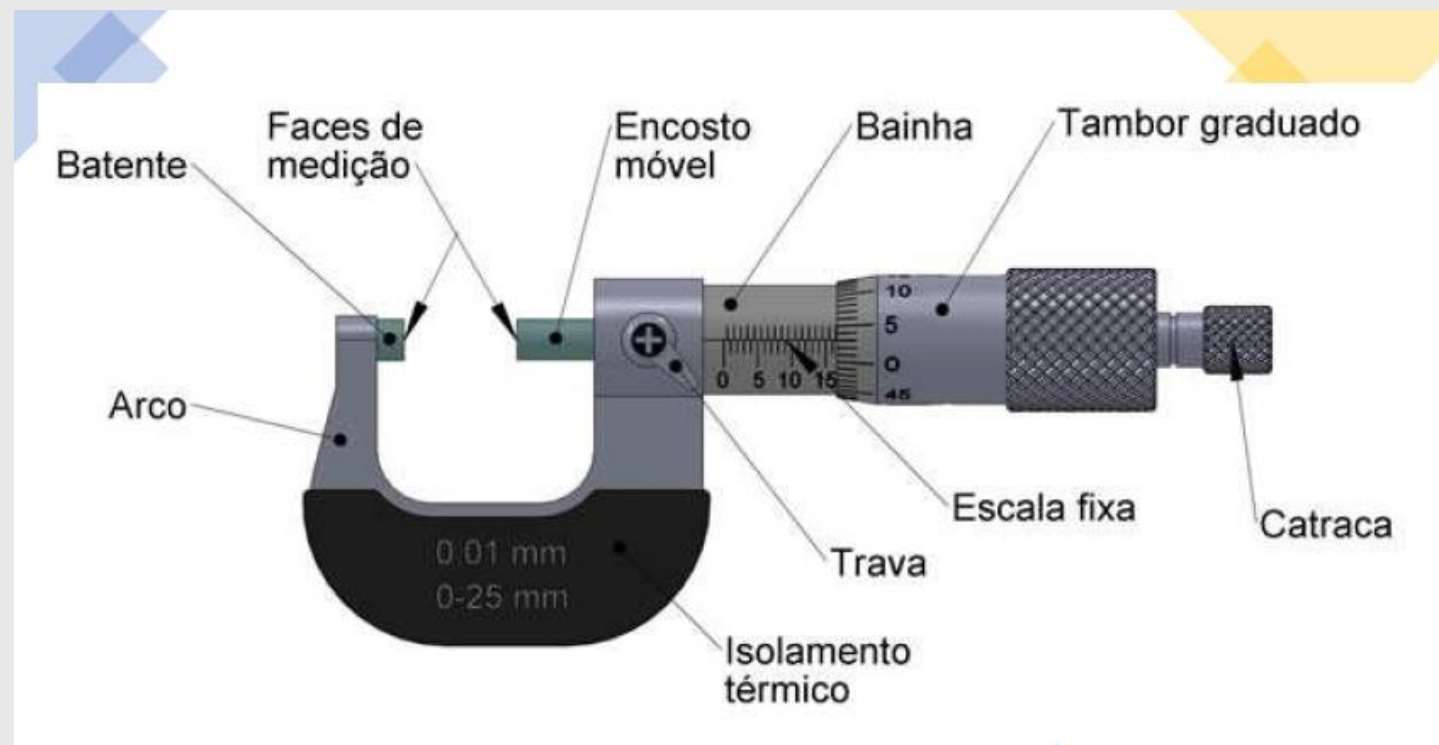
Medida de diâmetros externos, espessuras e larguras de peças.
Ex.: diâmetro de eixos, espessura de chapas, fios ou lâminas.

Medição interna *(com micrômetro interno)*

Medida de diâmetros internos de furos ou cavidades.

Medição de profundidade *(com micrômetro de profundidade)*

Medida da profundidade de furos, rasgos ou cavidades.



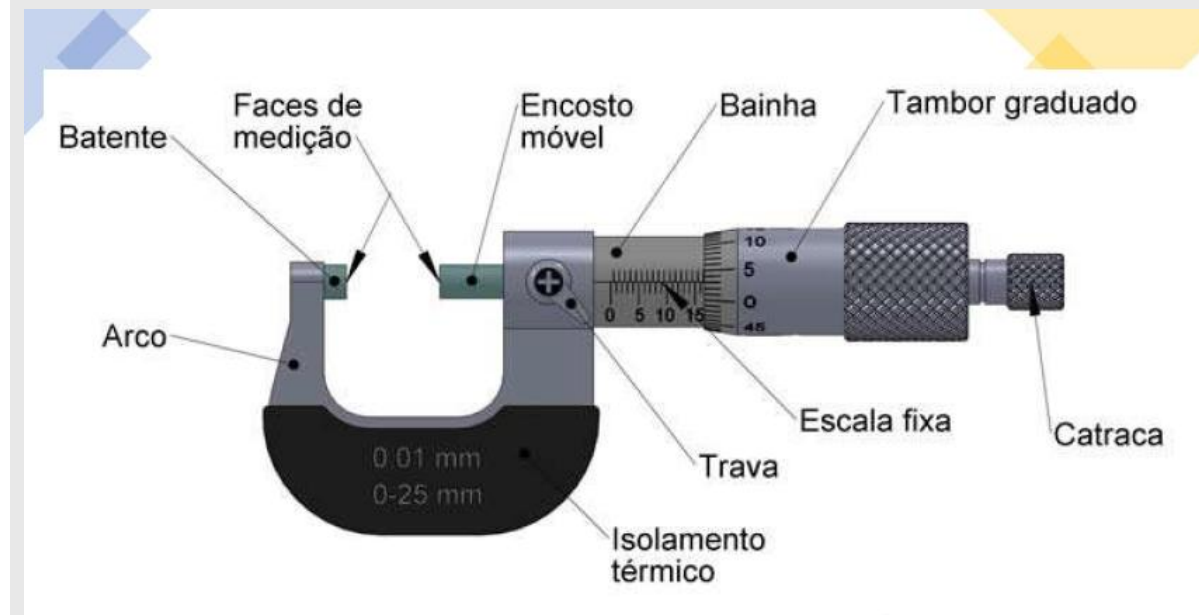
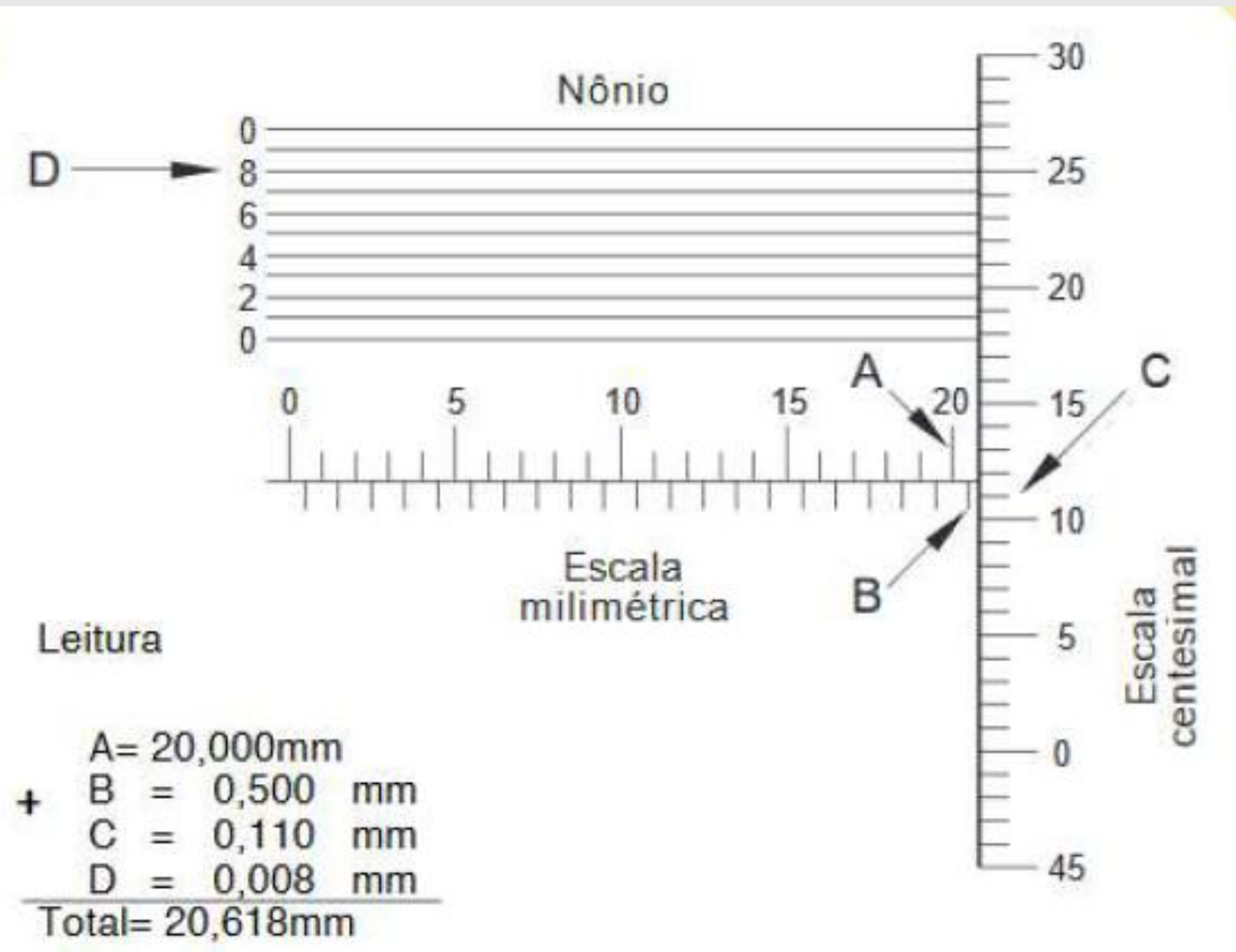
✓ Resumo:

O micrômetro permite medir **dimensões externas, internas e profundidades**, com **alta precisão** (geralmente até 0,01 mm ou 0,001 mm).

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- **Micrômetros (analógico e digital)**



Medidores de deslocamentos:

(i) **mecânicos**: relógio comparador e relógio apalpador;

(ii) **elétricos**: relógio comparador digital;

(iii) **elétrico pneumático**: evita erro de paralaxe e transdutor indutivo, para medição de deslocamento; e

(iv) **medidor de deslocamento elétrico pneumático**: usa a diferença de pressão via sinal elétrico.



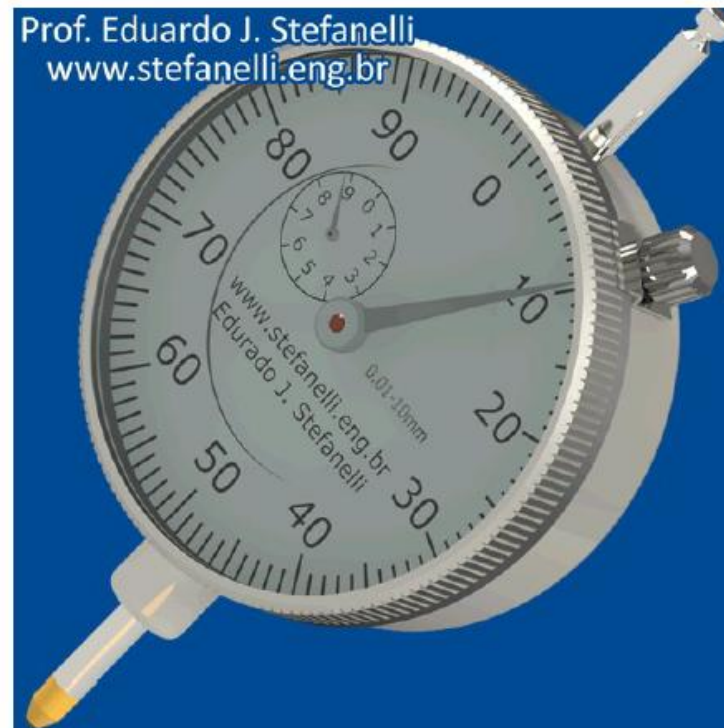
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Medidores de deslocamentos:

(i) **mecânicos**: relógio comparador e relógio apalpador; (ii) **elétricos**: relógio comparador digital; (iii) **elétrico pneumático**: evita erro de paralaxe e transdutor indutivo, para medição de deslocamento; (iv) **medidor de deslocamento elétrico pneumático**: usa a diferença de pressão via sinal elétrico.

(i)

Relógio
Comparador



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Medidores de deslocamentos:

(i) **mecânicos**: relógio comparador e relógio apalpador; (ii) **elétricos**: relógio comparador digital; (iii) **elétrico pneumático**: evita erro de paralaxe e transdutor indutivo, para medição de deslocamento; (iv) **medidor de deslocamento elétrico pneumático**: usa a diferença de pressão via sinal elétrico.

(i)



A figura mostra um **relógio comparador montado em uma base com suporte**, utilizado para **medição diferencial**.

Nesse método, o instrumento compara uma **peça padrão com outra peça**, indicando no mostrador pequenas **variações ou desvios dimensionais** em relação à referência.

Esse sistema é muito usado no **controle de qualidade para verificar precisão e alinhamento de peças**.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Medidores de deslocamentos:

(i) **mecânicos**: relógio comparador e relógio apalpador; (ii) **elétricos**: relógio comparador digital; (iii) **elétrico pneumático**: evita erro de paralaxe e transdutor indutivo, para medição de deslocamento; (iv) **medidor de deslocamento elétrico pneumático**: usa a diferença de pressão via sinal elétrico.

(ii)



É um **dispositivo de leitura/registro de dados** que recebe as medições do **relógio comparador digital** e **imprime ou armazena os valores medidos** para controle de qualidade.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- Medidores de deslocamentos:

(i) **mecânicos**: relógio comparador e relógio apalpador; (ii) **elétricos**: relógio comparador digital; (iii) **elétrico pneumático**: evita erro de paralaxe e transdutor indutivo, para medição de deslocamento; (iv) **medidor de deslocamento elétrico pneumático**: usa a diferença de pressão via sinal elétrico.

Relógio Apalpador



O **relógio apalpador** é um instrumento de medição usado para **detectar pequenas variações de posição ou alinhamento em peças**.

Ele possui uma **ponta de contato sensível** que se move ao tocar a superfície, indicando no mostrador **desvios muito pequenos**, sendo comum em ajustes, alinhamentos e inspeções de precisão.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Medidores de deslocamentos:

(i) **mecânicos**: relógio comparador e relógio palpador; (ii) **elétricos**: relógio comparador digital; (iii) **elétrico pneumático**: evita erro de paralaxe e transdutor indutivo, para medição de deslocamento; (iv) **medidor de deslocamento elétrico pneumático**: usa a diferença de pressão via sinal elétrico.

(ii)



Relógio
Apalpador
Digital

O relógio palpador digital é um instrumento de medição que **detecta pequenas variações de posição ou alinhamento em peças**, mostrando o **valor do desvio diretamente em um visor digital**, com alta precisão.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- Medidores de deslocamentos:

(i) **mecânicos**: relógio comparador e relógio apalpador; (ii) **elétricos**: relógio comparador digital; (iii) **elétrico pneumático**: evita erro de paralaxe e transdutor indutivo, para medição de deslocamento; (iv) **medidor de deslocamento elétrico pneumático**: usa a diferença de pressão via sinal elétrico.

(iii)



Medidor de
Deslocamento
com
Transdutor
Eletroindutivo

O medidor de deslocamento com **transdutor eletroindutivo** é um instrumento de alta precisão usado para **medir pequenos deslocamentos ou variações dimensionais em peças**, convertendo o movimento em **sinal elétrico**, que é exibido em um **visor digital** para análise e controle de qualidade.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

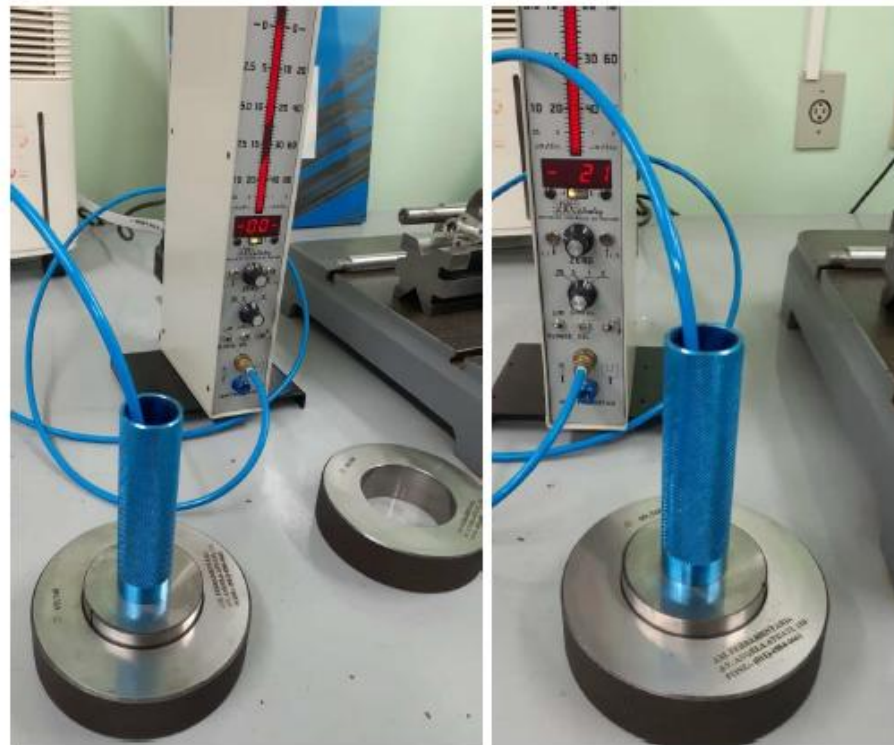


- Medidores de deslocamentos:

(i) **mecânicos**: relógio comparador e relógio apalpador; (ii) **elétricos**: relógio comparador digital; (iii) **elétrico pneumático**: evita erro de paralaxe e transdutor indutivo, para medição de deslocamento; (iv) **medidor de deslocamento elétrico pneumático**: usa a diferença de pressão via sinal elétrico.

(iv)

Medidor de
Deslocamento
Eletro
pneumático



O medidor de deslocamento **eletropneumático** é um instrumento utilizado para **medir pequenas variações dimensionais em peças**, utilizando **pressão de ar combinada com sensores eletrônicos**, permitindo medições de **alta precisão no controle de qualidade**.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Goniômetros ou Transferidores de Ângulos



O **goniômetro simples** é um instrumento utilizado para **medir ou verificar ângulos**.

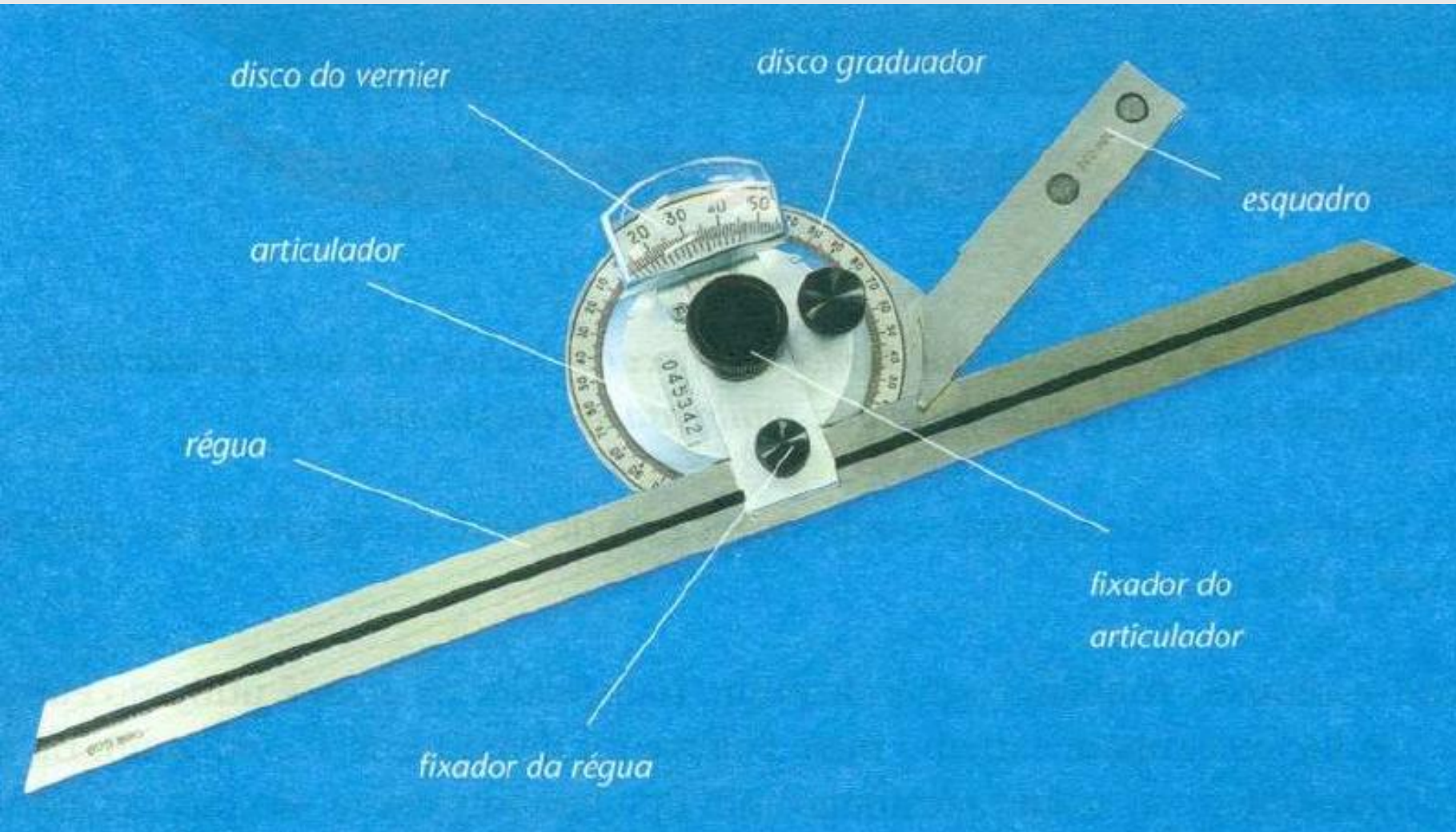
Ele possui uma **escala graduada em graus e uma régua móvel**, sendo usado em medições básicas de ângulos em peças ou superfícies.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- Goniômetros ou Transferidores de Ângulos



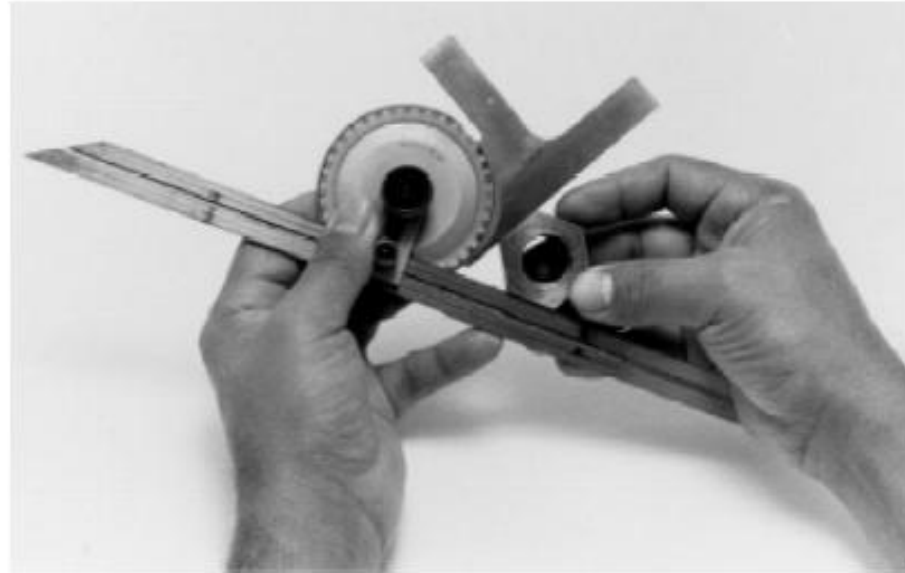
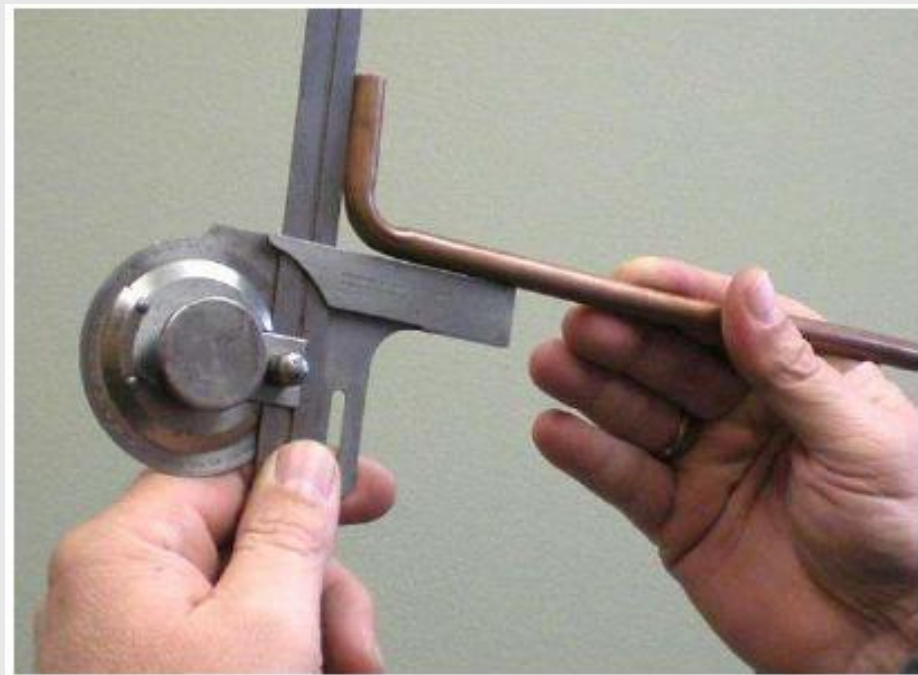
A figura mostra um **transferidor universal com nônio (vernier)**, instrumento usado para **medir e verificar ângulos com alta precisão**.

Ele possui régua, disco graduado e sistema de ajuste, sendo utilizado no **controle dimensional e na inspeção de peças mecânicas**.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- Goniômetros ou Transferidores de Ângulos



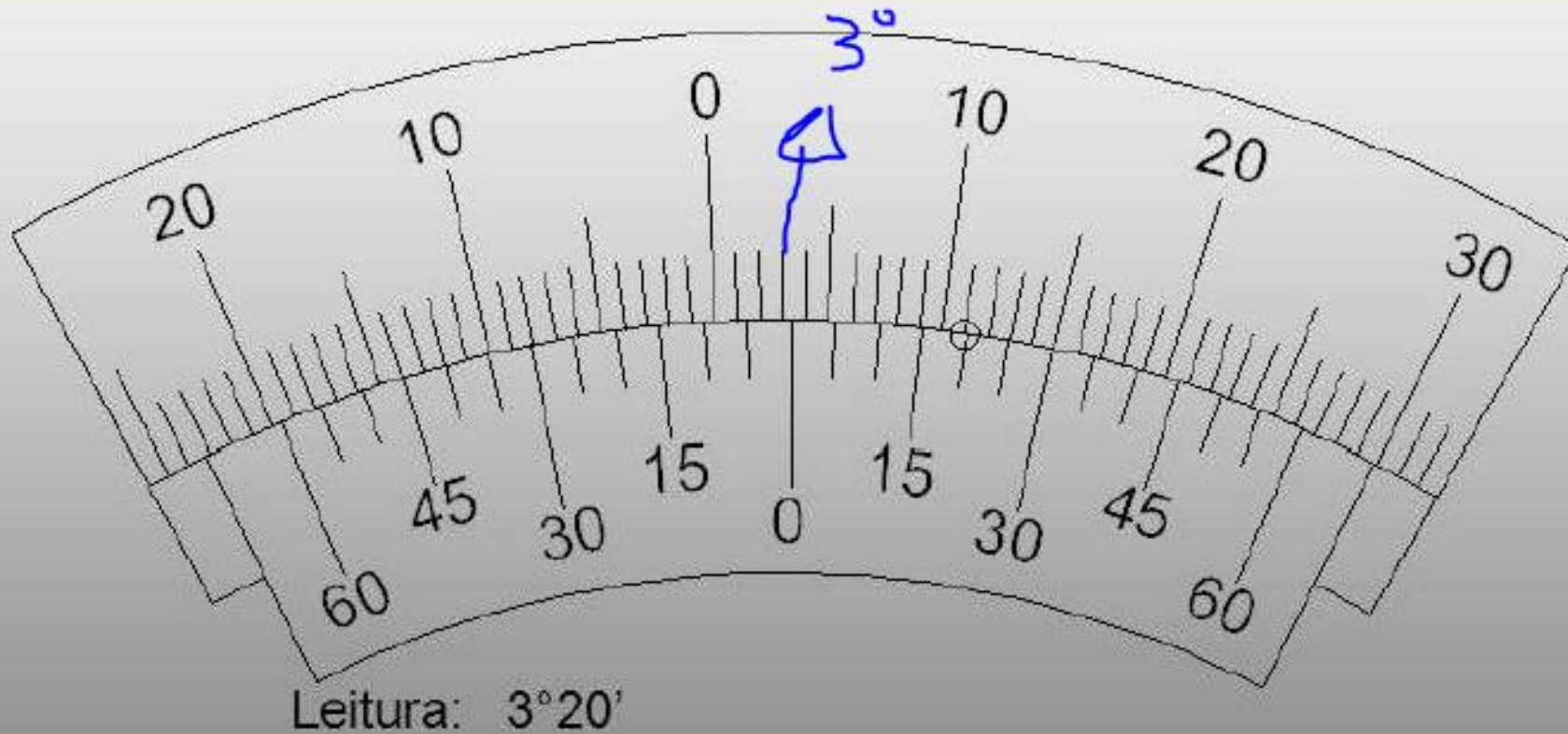
Aplicações

A figura mostra **aplicações do goniômetro**, utilizado para **medir e verificar ângulos em peças e componentes**, sendo comum em inspeção, montagem e controle dimensional na indústria.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- Goniômetros ou Transferidores de Ângulos



A figura mostra a **leitura de um transferidor com nônio (vernier)**, utilizado para medir ângulos com maior precisão.

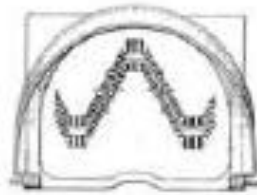
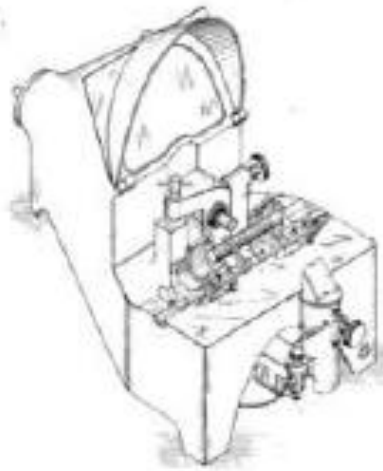
Nesse exemplo, a escala principal indica **3 graus** e o nônio acrescenta **20 minutos**, resultando na leitura **$3^{\circ} 20'$** .

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- **Projetores de Perfis**

Ontem e Hoje



1929

- Tela estática
- Mesa estática
- Somente compara
- Comparações de características isoladas
- Projeção somente de Perfil
- Iluminação por lâmpada de bulbo



Hoje

- Tela móvel com leitura angular
- Mesa móvel com leitura linear
- Mede e compara
- Medição integral de forma e posição
- Projeção de Perfil e Superfície
- Iluminação por LED

Praticamente 100 anos de Evolução

Starrett

A figura compara **projetores de perfil antigos (1929) e modernos**, mostrando a evolução da metrologia.

Os modelos antigos apenas comparavam perfis com mesa fixa e iluminação simples, enquanto os atuais possuem **mesa e tela móveis, leitura digital e permitem medir forma, posição e superfície com maior precisão.**

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Projetores de Perfis**



A figura mostra os **sistemas de projeção** usados em projetores de perfil:

- i) **diascópico** (luz transmitida pela peça para visualizar o contorno),
- ii) **episcópico** (luz refletida para observar a superfície) e
- iii) **ambos**, que combinam os dois métodos para análise mais completa da peça.

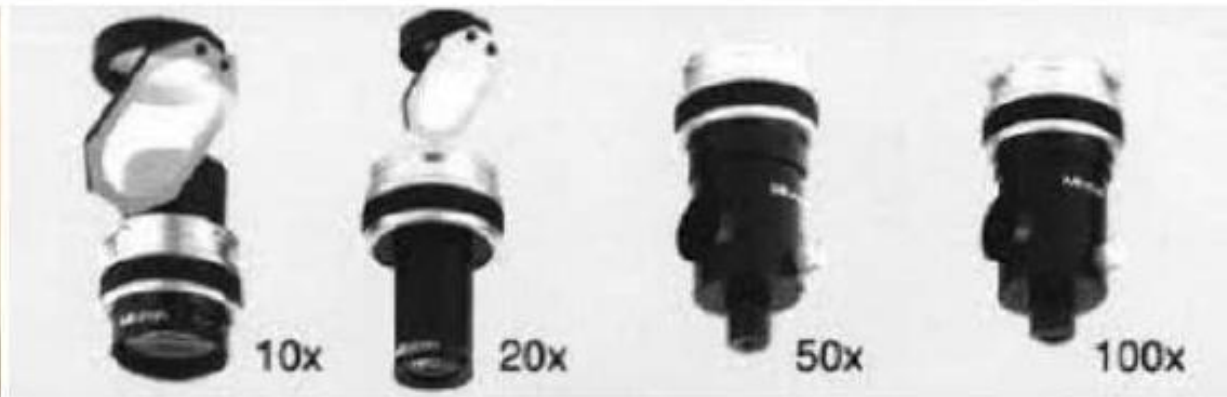


Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- **Projetores de Perfis**

Objetivas



A figura mostra **objetivas de ampliação usadas em projetores de perfil**, responsáveis por **aumentar a imagem da peça para facilitar a medição e análise.**

Os exemplos indicam ampliações como **10x, 20x, 50x e 100x.**



- **Projetores de Perfis**

Projeção Diascópica (Contorno)



A figura mostra um **projektor de perfil com projeção diascópica**, utilizado para **ampliar e observar o contorno de peças**, permitindo realizar **medições dimensionais e inspeção de perfis com alta precisão**.

Sistemas de Medição e padrões

(em negrito vamos estudar)



- **Projetores de Perfis**

Projeção Episcópica (Superfície)



A figura mostra a **projeção episcópica em projetores de perfil**, utilizada para **analisar detalhes da superfície da peça por meio de luz refletida**, permitindo observar **texturas, gravações e irregularidades superficiais**.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Projetores de Perfis**

Medição de roscas

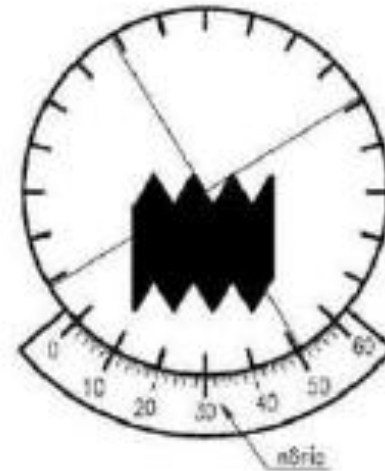
- A medida do passo corresponde a diferença das duas leituras
- Ex:

1º alinhamento: 5,000 mm

2º alinhamento: 6,995 mm

$\text{Passo} = 6.995 - 5,000$

$\text{Passo} = 1,995 \text{ mm}$



A medição do passo da rosca é feita alinhando o perfil da rosca com a linha de referência do projetor de perfil e registrando duas leituras em posições consecutivas.

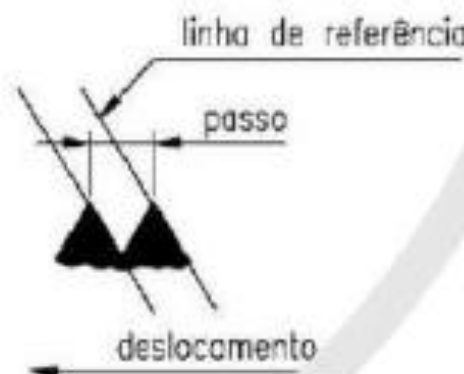
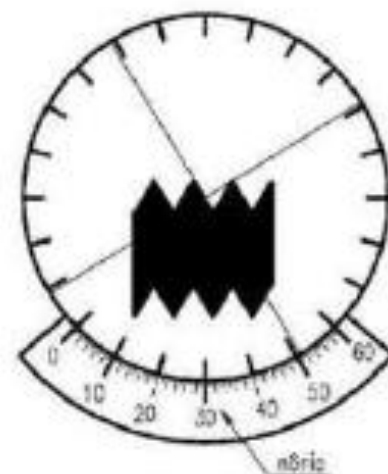
O passo corresponde à diferença entre essas duas leituras, representando a distância entre dois filetes da rosca.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Projetores de Perfis**

Medição de roscas

- A medida do passo corresponde a diferença das duas leituras
- Ex:
1º alinhamento: 5,000 mm
2º alinhamento: 6,995 mm
 $\text{Passo} = 6,995 - 5,000$
 $\text{Passo} = 1,995 \text{ mm}$



Sistema de fixação do eixo:

O eixo roscado é fixado para garantir **alinhamento, estabilidade e precisão** na medição do passo.

Geralmente é preso:

- **Entre pontas (centros)** → maior precisão e **coaxialidade** (**Coaxialidade** é a condição em que dois ou mais elementos geométricos (normalmente cilindros) possuem **o mesmo eixo central**)
- **Em mandril ou castanhas** → fixação mais rápida.
- **Com apoios auxiliares (luneta)** para eixos longos.

A base possui **guia com ajuste fino e travamento**, permitindo deslocamento controlado.

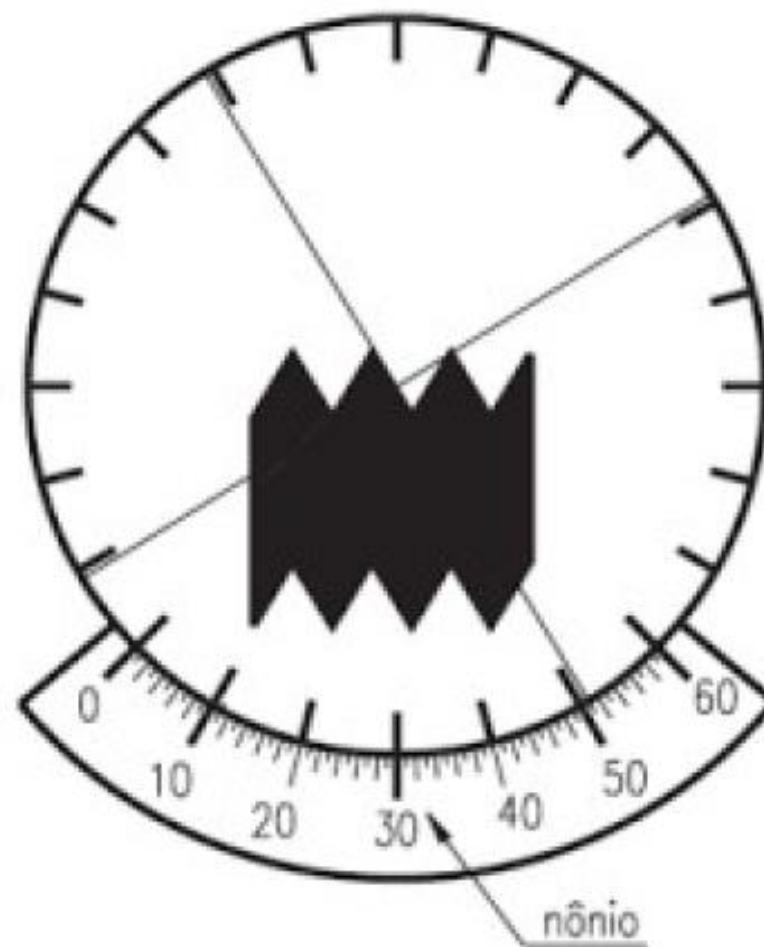
👉 Uma fixação inadequada pode causar **erro de alinhamento, vibração e erro na leitura do passo.**



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Projetores de Perfis**

Medição de ângulos



Nos projetores de perfil normalmente **usa-se a mesa giratória** para essa medição de ângulos.

A **medição do ângulo da rosca** é feita projetando o perfil da rosca no projetor de perfil.

A **mesa giratória** é utilizada para **girar a peça até alinhar os flancos da rosca com a linha de referência**, e o ângulo é obtido pela leitura da escala ou do **nônio** do equipamento.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



Medição de Rugosidade

A figura mostra um **equipamento para medição de rugosidade**, utilizado para **avaliar as irregularidades microscópicas da superfície de uma peça**, garantindo **qualidade e acabamento adequados no processo de fabricação**.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno

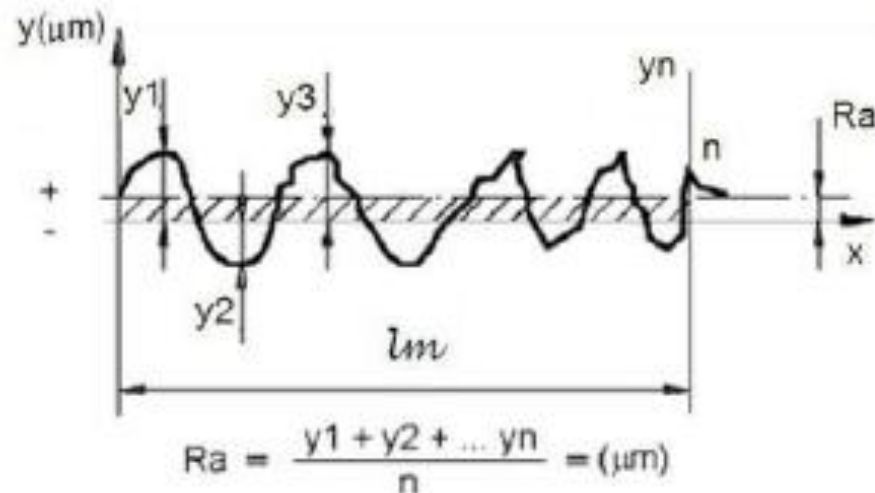
PARÂMETROS DE AMPLITUDE

Ra = rugosidade aritmética ou média, também representado por **CLA** ou **AA**.

- Unidades: micrometro (μm) ou micropolegada
- Parâmetro determinado em função da linha média M do perfil de rugosidade

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx = \frac{A}{L}$$

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$



A figura apresenta o **parâmetro de rugosidade Ra** (**rugosidade média aritmética**).

Ele representa a **média dos valores absolutos das irregularidades do perfil da superfície em relação à linha média**, ao longo de um comprimento de avaliação.

Esse parâmetro indica o **grau de acabamento da superfície** e é normalmente expresso em **micrômetros (μm)**.



- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno

. Vamos explorar a importância e o propósito de medir a rugosidade:

1. Qualidade das Superfícies:

- Imperfeições estão presentes em praticamente todas as superfícies, mesmo aquelas que parecem planas e polidas a olho nu.
- A rugosidade é composta por ondulações, também chamadas de erros de forma, e estruturas menores como picos e vales.
- Medir a rugosidade permite verificar a qualidade da superfície útil de peças fabricadas por processos como torneamento, fresamento, serramento, limagem, entre outros.

2. Influência nos Componentes Mecânicos:

- A rugosidade afeta o comportamento de componentes mecânicos.
- Exemplos incluem rolamentos e pistões automotivos.
- Ela influencia:
 - **Deslizamento:** Superfícies rugosas podem afetar o deslizamento entre componentes.
 - **Resistência ao Desgaste:** Uma rugosidade inadequada pode levar ao desgaste prematuro.
 - **Resistência à Corrosão:** Superfícies rugosas são mais vulneráveis à corrosão.
 - **Vedação:** Rugosidade afeta a vedação entre peças.
 - **Estética:** Aparência estética de um componente também é impactada pela rugosidade.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



A figura mostra **rugosímetros de contato**, equipamentos utilizados para medir a **rugosidade da superfície de peças mecânicas**.

Um **apalpador (ponta)** percorre a superfície da peça e registra as **irregularidades do perfil**, permitindo calcular parâmetros de rugosidade.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



Rugosímetros Portáteis

A figura mostra **rugosímetros portáteis**, utilizados para medir rapidamente a **rugosidade de superfícies** diretamente nas peças, facilitando inspeções em campo ou na produção.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



Universidade Federal de Itajubá - U





Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



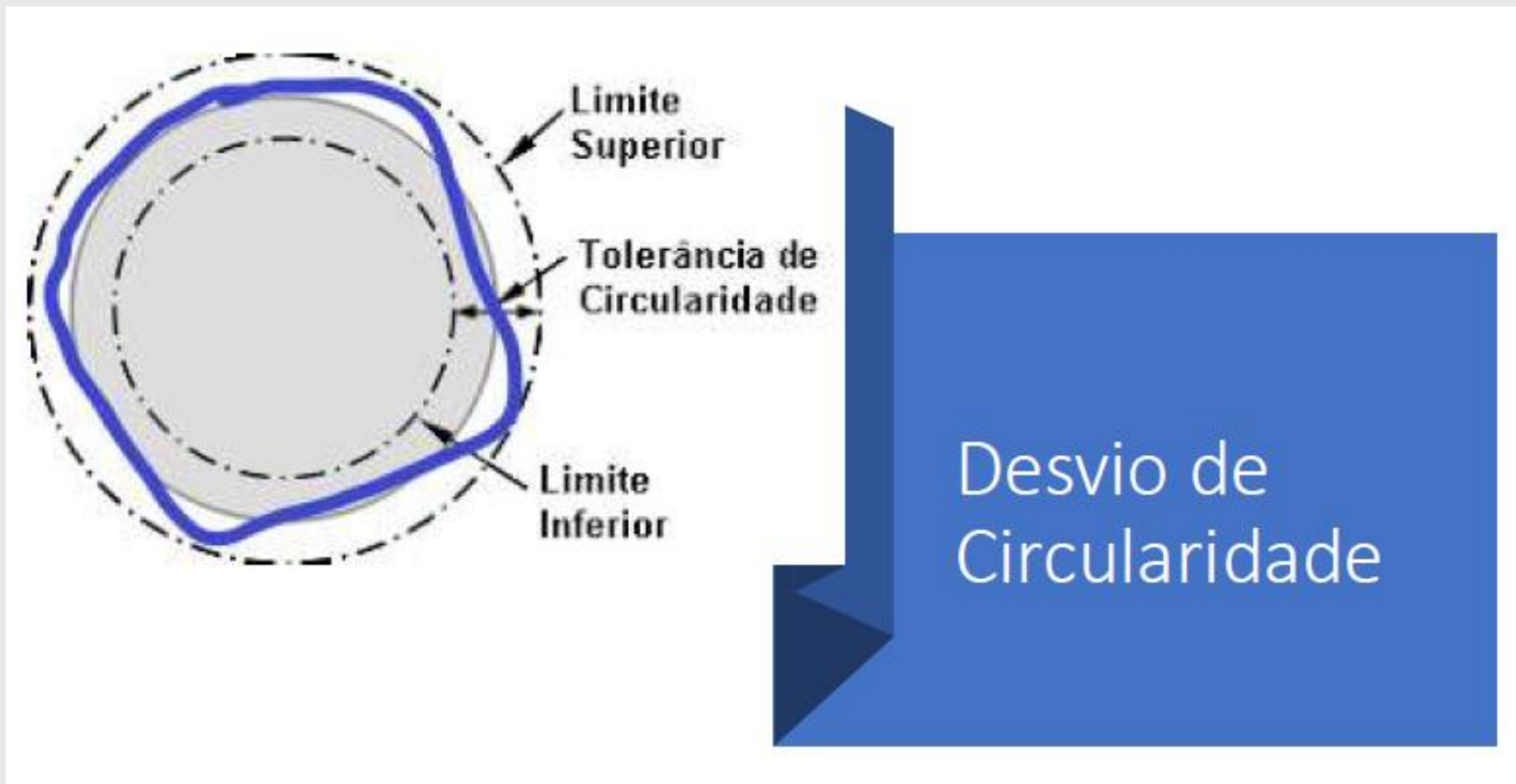
A figura mostra um **equipamento utilizado para medir desvios de forma em peças**, como circularidade ou cilindricidade.

A **peça é posicionada no equipamento e os desvios geométricos são analisados e apresentados em um computador.**



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



A figura ilustra o **desvio de circularidade**, mostrando a diferença entre o perfil real da peça e um círculo ideal.

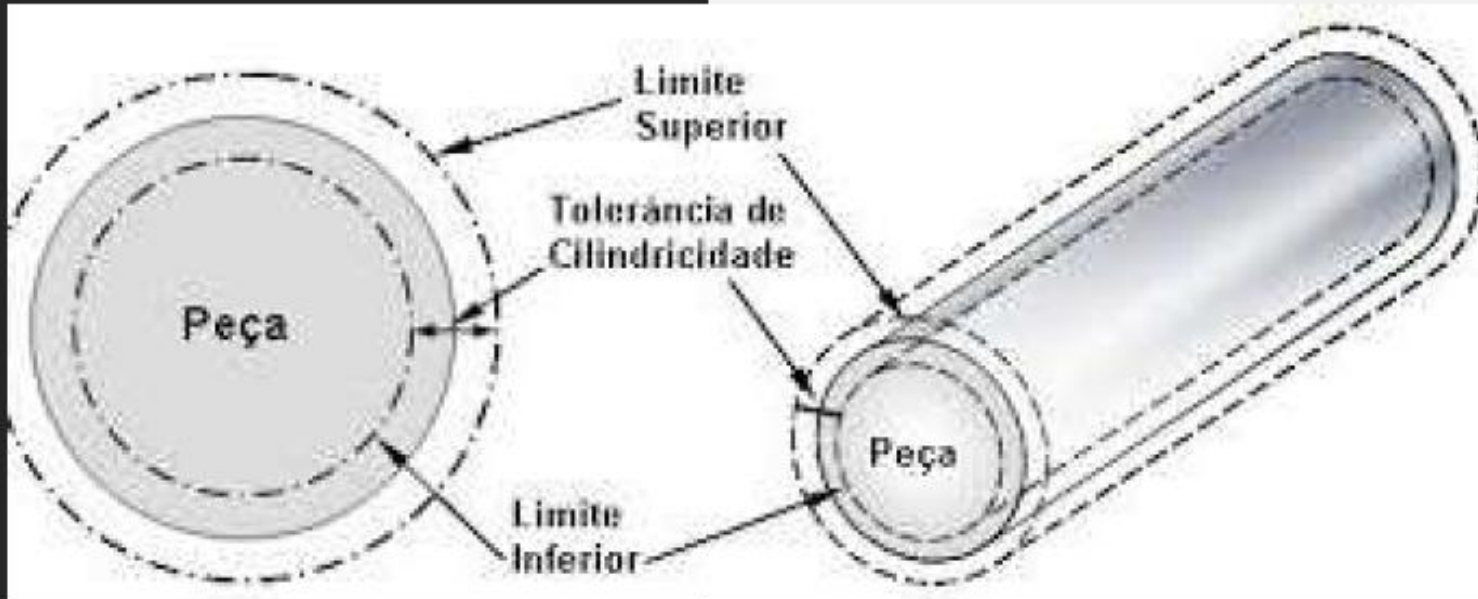
O perfil deve permanecer **entre os limites superior e inferior da tolerância de circularidade**.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno

Desvio de Cilindricidade



A figura ilustra o **desvio de cilindridade**, mostrando a variação da forma de um cilindro real em relação ao cilindro ideal.

A superfície da peça deve permanecer **entre os limites superior e inferior da tolerância de cilindridade**.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



A figura apresenta um **sistema de medição de rugosidade, forma e contorno, modelo MMQ 400 da Mahr.**

Trata-se de um equipamento metrológico de alta precisão utilizado para:

- Medir **perfil de superfície (rugosidade)**
- Avaliar **forma geométrica** (circularidade, cilindricidade, etc.)
- Analisar **contorno de peças**

O sistema possui:

- **Coluna vertical** para movimentação do apalpador
- **Braço horizontal móvel**
- **Base giratória** para fixação da peça
- **Unidade eletrônica com painel de controle**

É utilizado principalmente em laboratórios de metrologia e controle de qualidade industrial.





◆ **Calibradores (tampão, boca, rosca, especiais)**

Instrumentos do tipo “**passa / não passa**”, usados para verificar rapidamente se a dimensão da peça está dentro da tolerância especificada.

◆ **Verificadores (de folga, de raio e de rosca)**

Ferramentas utilizadas para conferir **folgas, raios de curvatura e perfil/passo de roscas**, normalmente por comparação direta com o padrão.

◆ **Réguas**

Utilizadas para avaliar a **retitude** (retilineidade) ou alinhamento superficial da peça.

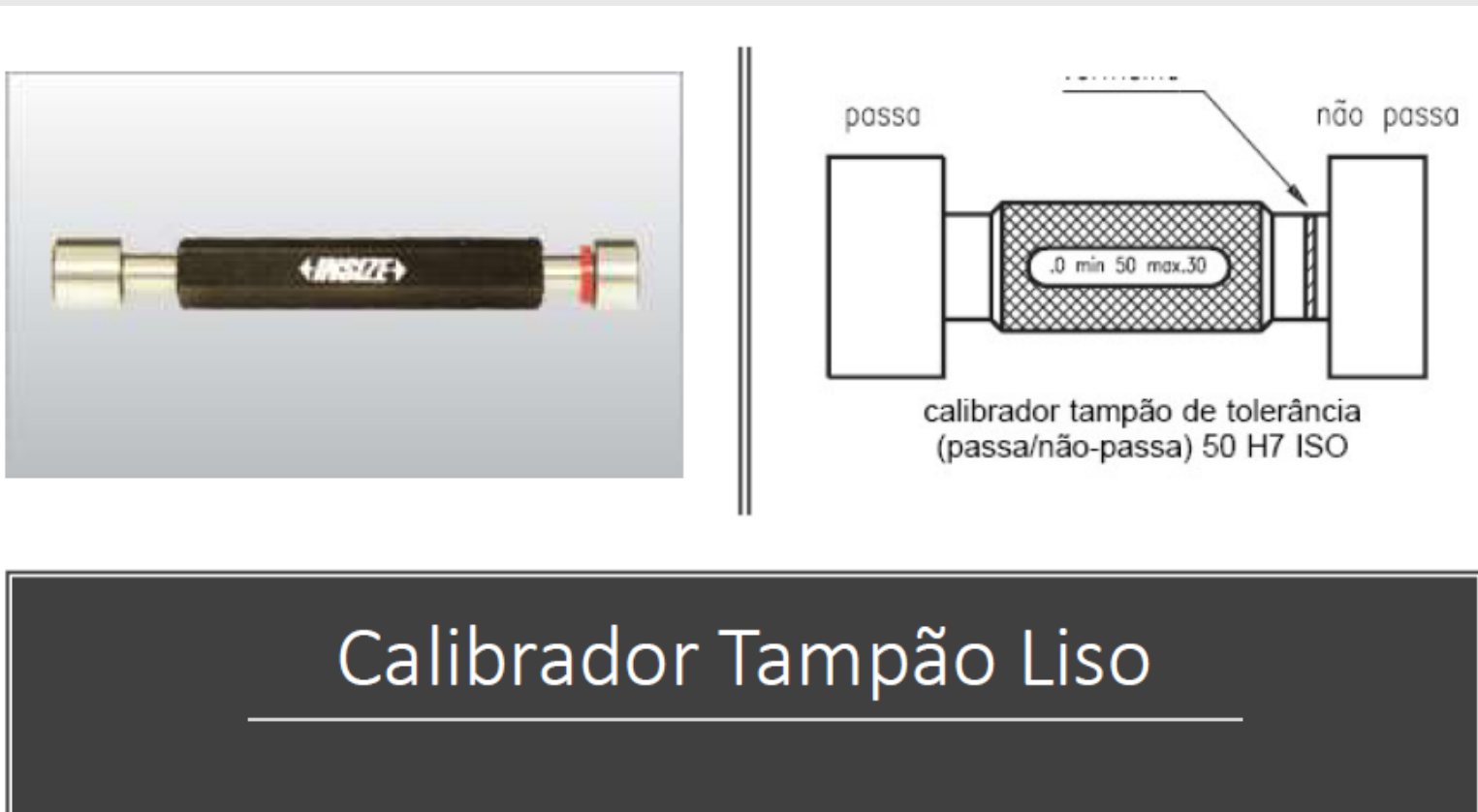
◆ **Esquadros**

Empregados para verificar a **perpendicularidade**, confirmando se a peça está a **90°** em relação a uma referência.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)



A figura mostra um **calibrador tampão liso** (passa/não-passa), utilizado para verificar se o diâmetro de furos está dentro da tolerância especificada.

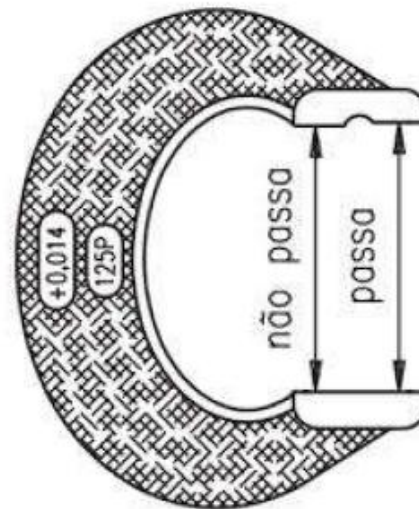
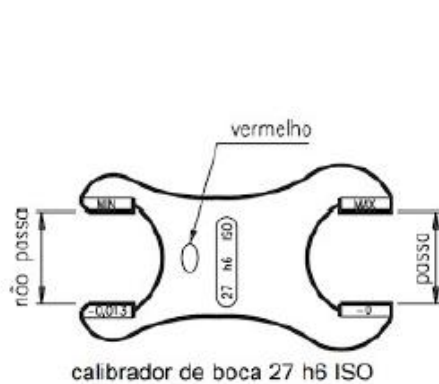
Um lado deve **passar** no furo e o outro **não deve passar**, indicando se a peça está conforme.

Calibrador Tampão Liso



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)



Calibrador de boca

A figura mostra um **calibrador de boca (passa/não-passa)**, utilizado para verificar **diâmetros externos de peças**, como eixos.

Um lado deve **passar** pela peça e o outro **não deve passar**, indicando se a dimensão está dentro da tolerância especificada.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)

Calibrador Tampão Roscado



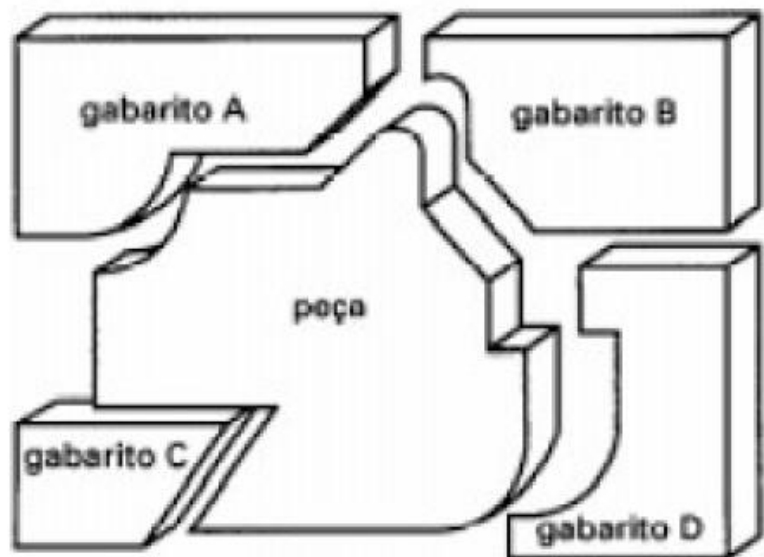
A figura mostra um **calibrador tampão roscado** (passa/não-passa), utilizado para **verificar roscas internas**.

O lado “**passa**” (**GO**) deve rosquear normalmente na peça, enquanto o lado “**não passa**” (**NOGO**) não deve entrar, confirmando se a rosca está dentro da tolerância especificada.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)



Calibrador/
Verificador
(Gabarito)
de Forma

A figura mostra **gabaritos de forma**, utilizados para **verificar rapidamente se o perfil de uma peça corresponde à forma especificada no projeto**.

Cada gabarito confere uma parte da geometria da peça.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)



A figura mostra um **calibrador de folga**, composto por lâminas de diferentes espessuras, utilizado para **medir ou verificar pequenas folgas entre duas superfícies**.

Calibrador/Verificador de Folga

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)



Verificação de folgas de válvulas de motores





Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)

Calibradores/Verificadores de Raios



A figura apresenta **calibradores (verificadores) de raios**, compostos por lâminas com diferentes raios padronizados, utilizados para **verificar ou comparar o raio de superfícies curvas, como cantos arredondados e filetes em peças mecânicas**.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)

Calibrador
de Raio



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°



O que significa M10 × 1,5?

É a **designação de uma rosca métrica ISO**.

- **M** → rosca métrica (perfil triangular de 60°)
- **10** → diâmetro nominal externo = **10 mm**
- **1,5** → passo da rosca = **1,5 mm**



Isso significa que:
A cada volta completa do parafuso, ele avança **1,5 mm** no sentido axial.

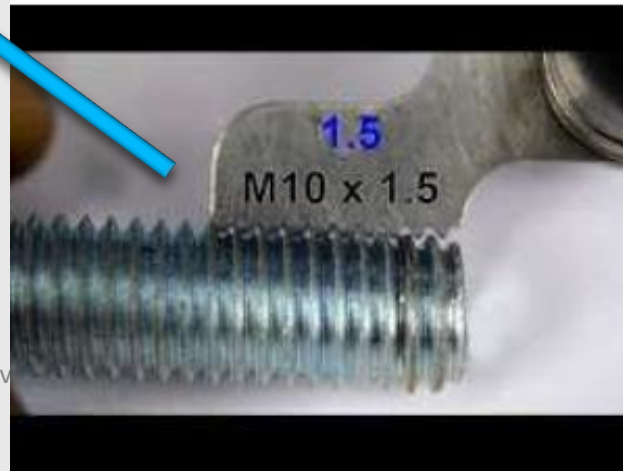
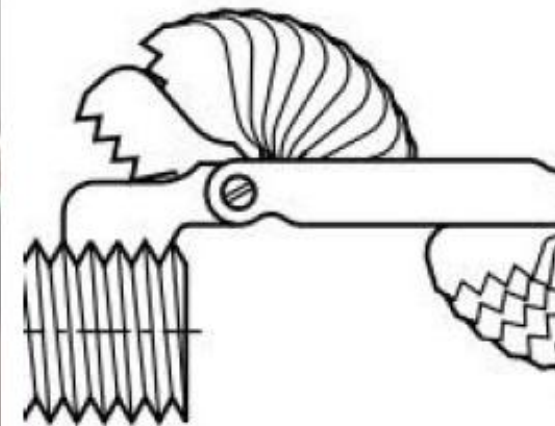


Observação importante

Para o diâmetro 10 mm:

- **M10 × 1,5** → é o **passo normal (padrão)**
- Se fosse passo fino, apareceria diferente, por exemplo:

- **M10 × 1,25**
- **M10 × 1,0**



Calibradores/Verificadores
de Roscas



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)



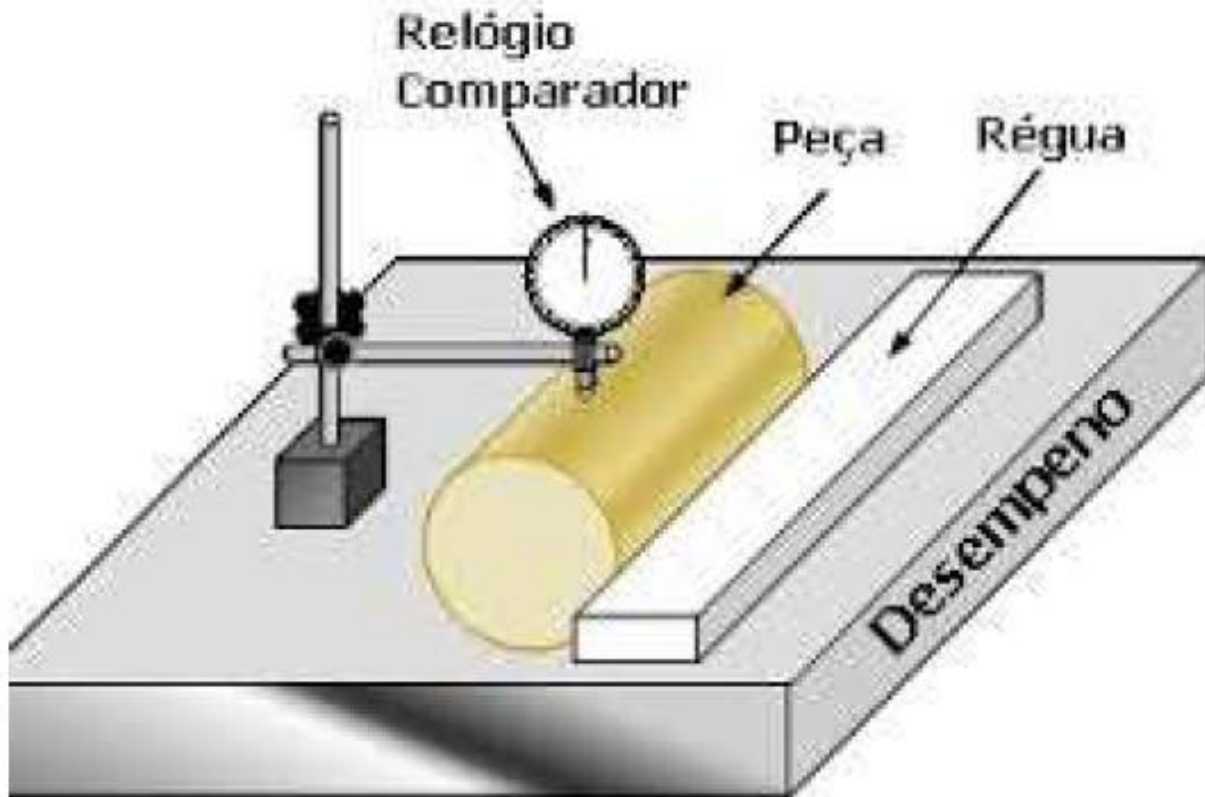
A figura mostra uma **régua de precisão (régua de controle)** utilizada para **verificar o empenamento ou a planicidade de superfícies**.

No exemplo, utiliza-se a mesma para a **verificação da superfície de um cabeçote de motor**.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)



Medição
com auxílio
de Régua
Paralela



Medição com auxílio de régua paralela:

Esse método é usado para verificar **retilidade** ou **paralelismo** da peça.



Como funciona:

1. A peça é apoiada sobre um **desempeno** (mesa plana de referência).
2. Uma **régua paralela** é posicionada ao lado da peça como referência geométrica.
3. Um **relógio comparador** toca a superfície da peça.
4. Desloca-se o relógio comparador ao longo do comprimento da peça.
5. Observa-se a variação indicada no relógio.



Interpretação:

- Se o valor variar → existe desvio (falta de retilidade).
- Se não houver variação significativa → a peça está reta/paralela.



A diferença entre o maior e o menor valor medido indica o erro geométrico.

60





Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)

Esquadro de
Aço

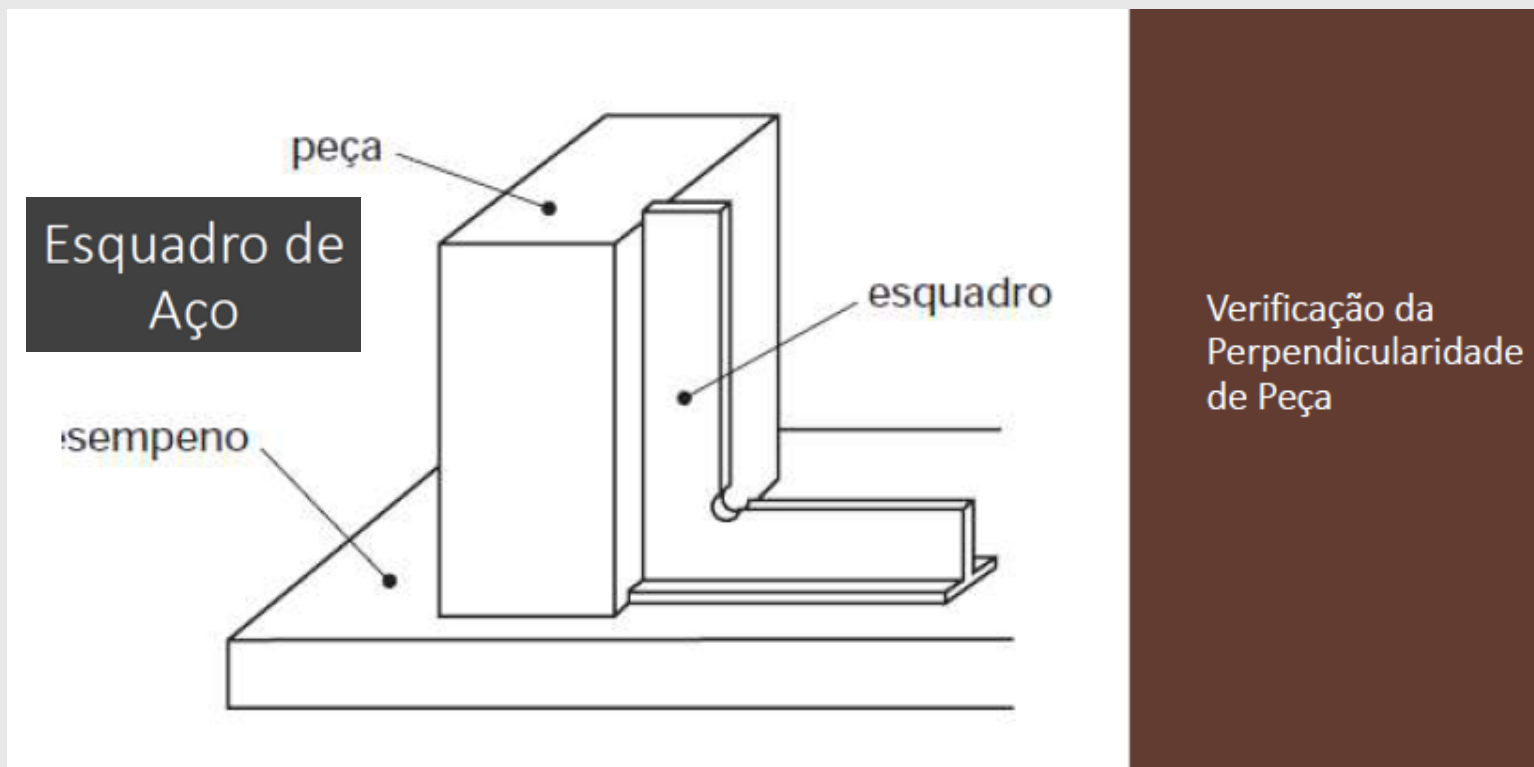


A figura apresenta um **esquadro de aço**, instrumento utilizado para **verificar e traçar ângulos de 90°** (**perpendicularidade**) em peças e superfícies.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)

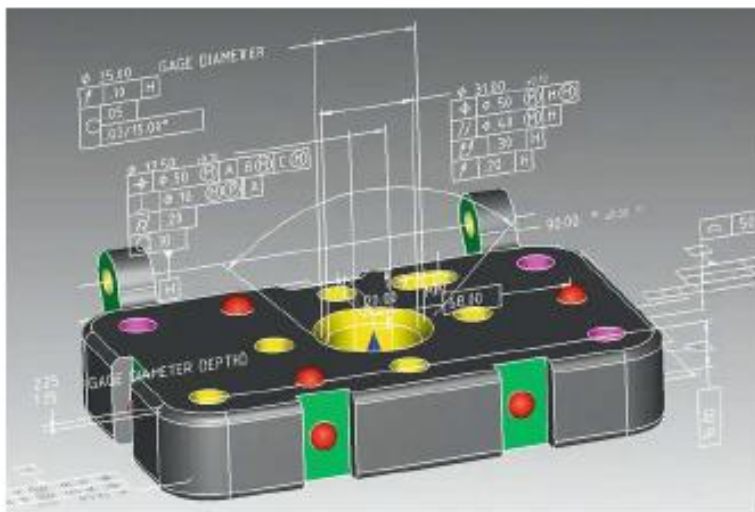


A figura ilustra a verificação da perpendicularidade de uma peça utilizando um esquadro apoiado sobre uma mesa de desempeno, para verificar se as faces da peça formam um ângulo de 90°.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

• Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



O slide apresenta a **MMC**, equipamento utilizado para realizar medições geométricas em três dimensões (**X, Y e Z**).

◆ Permite medir:

- Dimensões lineares
- Diâmetros e furos
- Ângulos
- Perfis complexos
- Engrenagens e superfícies tridimensionais

◆ **Funcionamento:**

Um **apalpador (sensor)** toca ou escaneia a peça, captando coordenadas espaciais que são processadas por *software* para comparar com o modelo CAD.

📌 **Aplicação:**

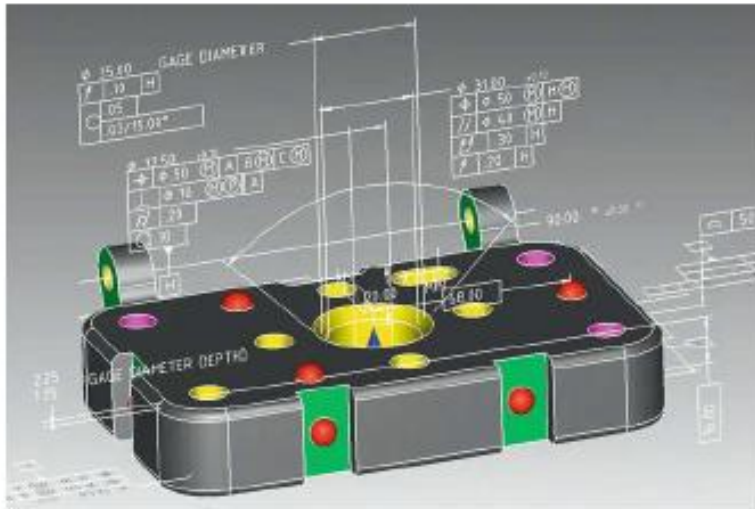
Muito usada no controle de qualidade, inspeção de peças usinadas e validação dimensional de geometrias complexas.



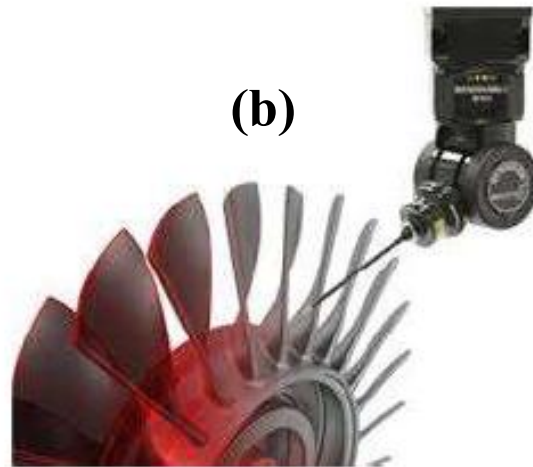
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

• Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

(f)

(g)

(a) Representa a **medição dimensional de uma peça em modelo CAD**, indicando pontos e coordenadas utilizados para análise tridimensional.

(b) Mostra um **sistema de medição óptica/laser**, utilizado para capturar a geometria de superfícies complexas sem contato.

(c) Apresenta uma **Máquina de Medir por Coordenadas (MMC)** equipada com apalpador, utilizada para medir dimensões e posições com alta precisão.

(d) Exemplo de **medição de uma peça real em MMC**, onde o apalpador toca a superfície para coletar coordenadas.

(e) Ilustra a **medição de engrenagens**, verificando parâmetros geométricos como perfil e passo dos dentes.

(f) Mostra **diferentes peças mecânicas complexas**, que podem ser inspecionadas tridimensionalmente por sistemas de medição por coordenadas.

(g) Apresenta **ferramentas ou componentes usinados**, cuja geometria também pode ser verificada por sistemas de medição tridimensional.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



Tipos de
Estruturas





Tipo - Ponte Móvel

O slide apresenta uma **Máquina de Medir por Coordenadas (MMC)** do tipo **ponte móvel**.

♦ Características:

Estrutura em formato de ponte que se desloca sobre a mesa.

Movimento nos três eixos (X, Y e Z).
Apalpador instalado na coluna vertical.

♦ Funcionamento:

A ponte se movimenta sobre a peça fixa na mesa, permitindo a coleta de coordenadas tridimensionais com alta precisão.

♦ Aplicação:

Muito utilizada na inspeção dimensional de peças médias e grandes na indústria mecânica.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



Tipo – Braço Horizontal

O slide apresenta uma **Máquina de Medir por Coordenadas (MMC)** do tipo **braço horizontal**.

- ◆ **Características:**

- Coluna vertical fixa.
- Braço projetado horizontalmente.
- Apalpador na extremidade do braço.

- ◆ **Funcionamento:**

O braço se desloca horizontalmente enquanto a coluna realiza o movimento vertical, permitindo a medição tridimensional da peça.

- ◆ **Aplicação:**

Indicada para peças de grande porte ou geometrias abertas, como estruturas automotivas e chapas estampadas.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



Tipo – Duplo Braço Horizontal

O slide apresenta uma Máquina de Medir por Coordenadas (MMC) do tipo duplo braço horizontal.

◆ **Características:**

- Duas colunas laterais independentes.
- Dois braços horizontais com apalpadores.
- Grande área de medição.

◆ **Funcionamento:**

Os braços se deslocam horizontalmente ao longo da estrutura, permitindo medir simultaneamente ou alcançar diferentes lados da peça.

◆ **Aplicação:**

Indicada para peças de grande porte, como carrocerias automotivas, oferecendo alta produtividade e ampla cobertura de medição.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



Cantilever é uma estrutura saliente, como um feixe, que é suportado em uma extremidade e transporta uma carga na outra extremidade, ou ao longo de seu comprimento.

Tipo:
Cantilever



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



Um **pórtico** é uma estrutura arquitetônica que consiste em duas colunas ou pilares verticais conectados por uma viga horizontal.

Tipo Pórtico

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI





Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

Braço de Medição



O slide apresenta o **braço de medição articulado**, um tipo portátil de Máquina de Medir por Coordenadas.

◆ Características:

- Estrutura articulada com vários eixos rotacionais.
- Apalpador na extremidade.
- Conectado a software em computador.

◆ Funcionamento:

O operador movimenta manualmente o braço e toca os pontos da peça; o sistema registra as coordenadas tridimensionais.

◆ Aplicação:

Indicado para medições rápidas, peças médias/grandes e inspeções em campo ou diretamente na produção.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



Apalpadores

O slide apresenta os **apalpadores utilizados em Máquinas de Medir por Coordenadas (MMC).**

◆ Função:

São sensores responsáveis por **tocar ou escanear a superfície da peça**, captando pontos e gerando coordenadas tridimensionais.

◆ Tipos de Apalpadores:

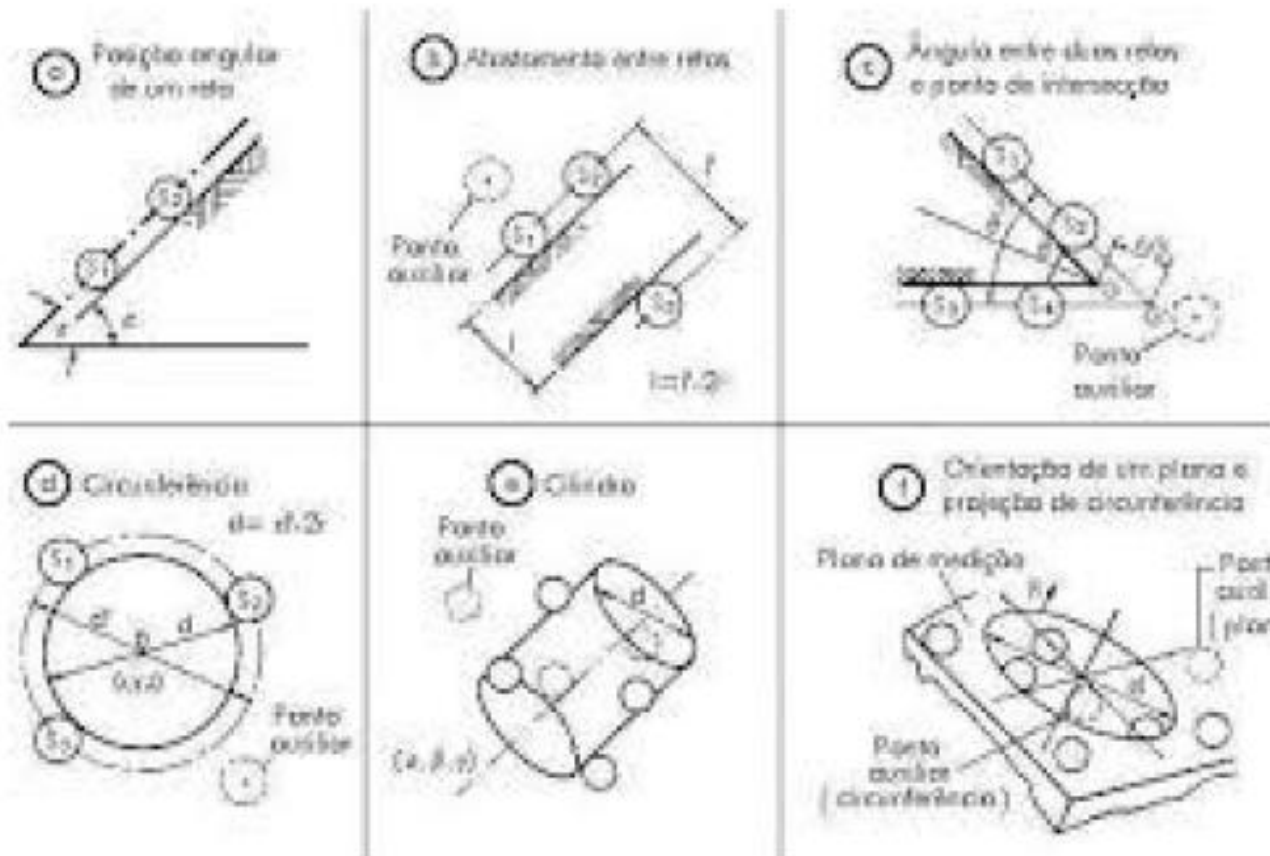
- Apalpador de contato (com ponta esférica)
- Sistemas de varredura (*scanning*) para medir perfis complexos

◆ Aplicação:

Permitem medir furos, superfícies, contornos e geometrias complexas com alta precisão, comparando os dados com o modelo CAD.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



Procedimento de Medição

O slide apresenta esquemas ilustrando o **procedimento de medição em uma Máquina de Medir por Coordenadas (MMC)**.

◆ Mostra exemplos de medição de:

- Ângulo
- Distância entre faces
- Posição e alinhamento
- Circularidade
- Cilindricidade
- Planicidade

◆ **Como funciona:**

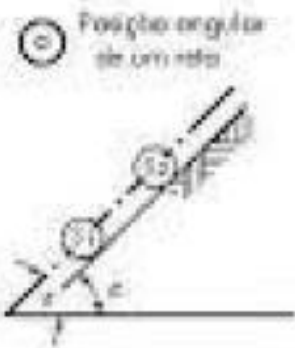
O **apalpador** coleta vários pontos na superfície da peça, e o **software** calcula os elementos geométricos (reta, plano, círculo, cilindro etc.) com base nessas coordenadas.

📌 **A precisão depende da correta definição dos pontos de referência e da estratégia de coleta dos pontos.**

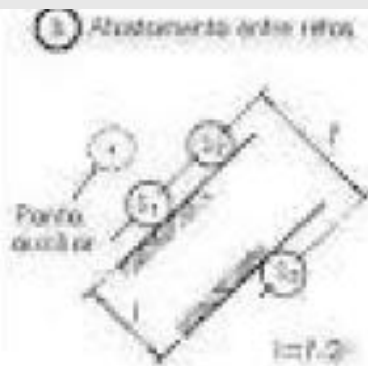
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

• Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

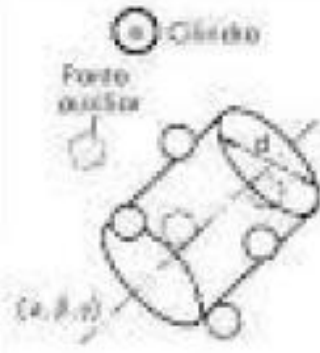
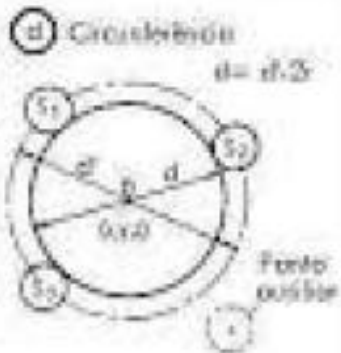
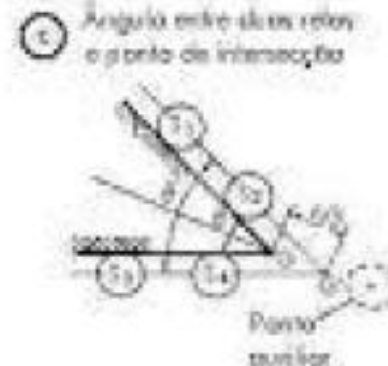
1 Ângulo



2 Distância entre faces



3 Ângulo entre duas retas e o ponto de intersecção



4 Circularidade (Ø)

5 Cilindricidade

6 Planicidade

A figura apresenta desenhos esquemáticos de como medir:

1 Ângulo

→ Coleta-se pontos em duas superfícies inclinadas.

→ O *software* ajusta duas retas/planos.

→ Calcula o ângulo entre elas.

2 Distância entre faces

→ Apalpação de pontos em duas superfícies paralelas.

→ Ajuste de dois planos.

→ Cálculo da distância mínima entre eles.

3 Medição do ângulo entre duas retas e ponto de intersecção (MMC)

◆ Como é feito na prática:

1. O apalpador coleta **vários pontos na primeira superfície**

→ O *software* ajusta uma **reta 1** (ou plano, se for superfície).

2. O apalpador coleta **vários pontos na segunda superfície**

→ O *software* ajusta uma **reta 2**.

3. O sistema calcula:

▲ **Ângulo entre as duas retas**

● **Ponto de intersecção teórico**

4 Circularidade (Ø)

→ Coleta de vários pontos ao redor do furo/eixo.

→ Ajuste de um círculo pelo método dos mínimos quadrados.

→ Avaliação do desvio máximo.

5 Cilindricidade

→ Coleta de pontos em várias alturas do cilindro.

→ Ajuste de um cilindro ideal.

→ Cálculo do erro geométrico.

6 Planicidade

→ Vários pontos distribuídos na superfície.

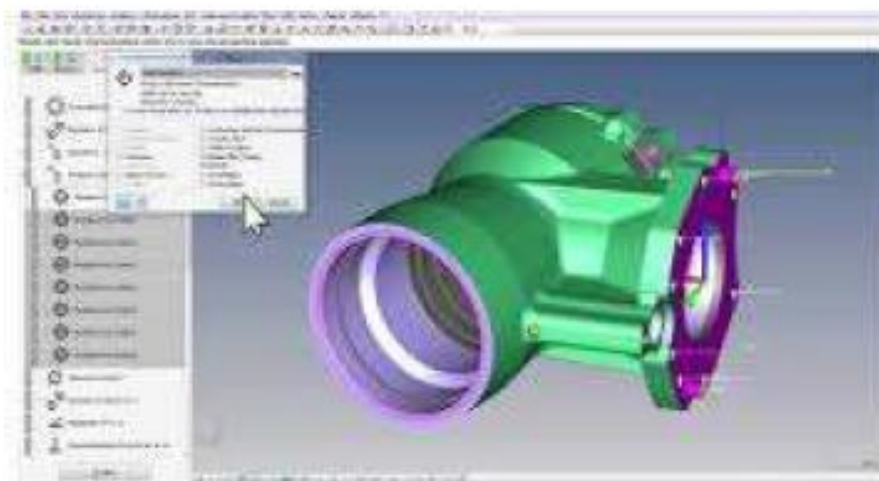
→ Ajuste de um plano ideal.

→ Determinação do desvio máximo.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

Aplicações



Complex edits can be accomplished with the CALYPSO paint brush.

Zeiss Calypso Paint Brush Tool é uma ferramenta utilizada em metrologia e medidas de precisão. Ele faz parte do *software* Calypso, desenvolvido pela empresa **Zeiss**, que é usado para programação e controle de máquinas de medição por coordenadas (CMM). Essa ferramenta permite aos operadores pintar áreas específicas em modelos 3D para definir regiões de interesse para medição.



Em motores

O slide apresenta exemplos de aplicações práticas da Máquina de Medir por Coordenadas (MMC).

◆ Mostra o uso do *software* Calypso (Zeiss) para:

- Programação das medições
- Seleção de áreas em modelos 3D (*Point Brush Tool* - Ferramenta Pincel de Pontos)
- Definição de regiões de inspeção

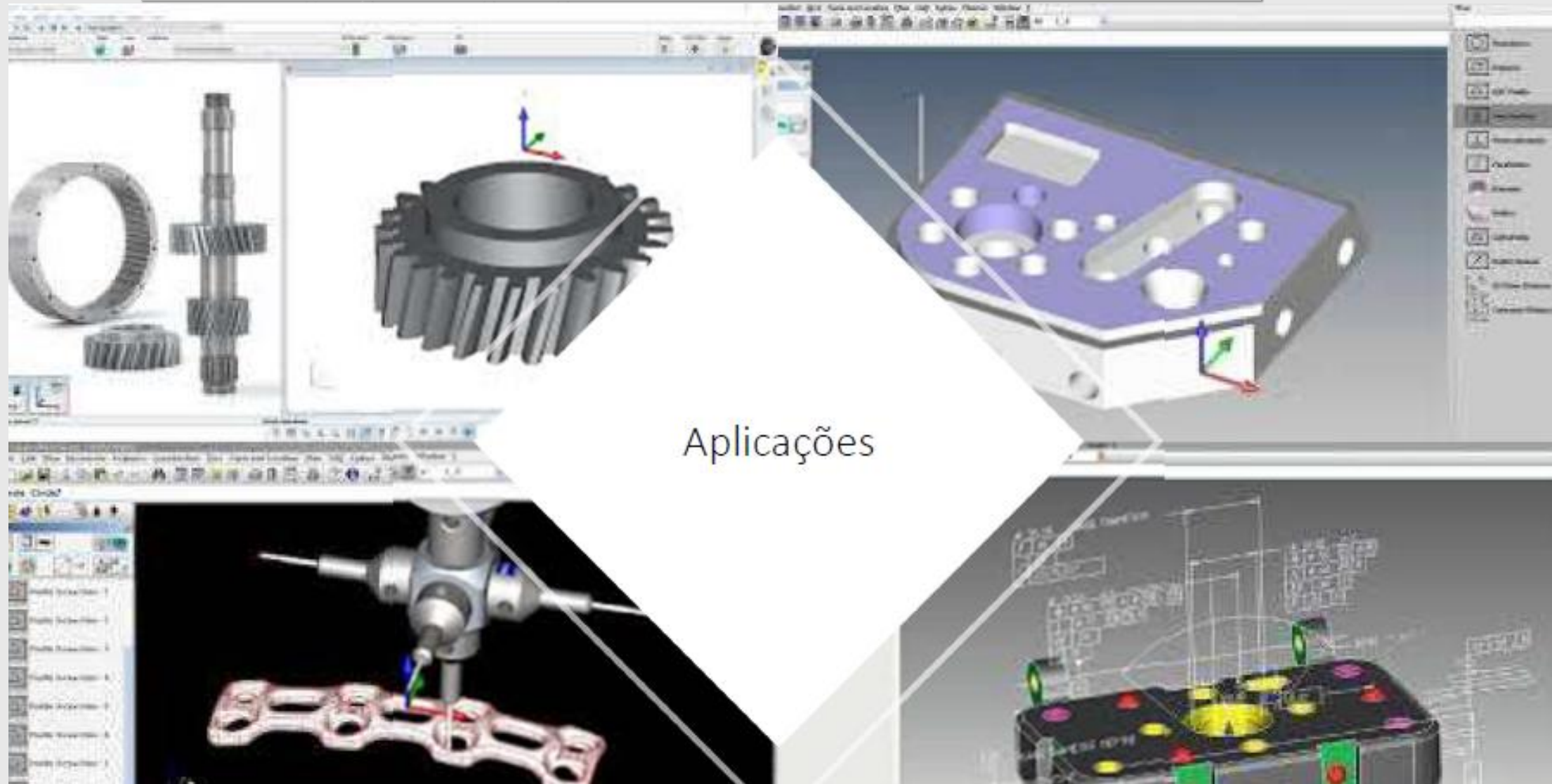
- ◆ Exemplo aplicado:
- Inspeção dimensional de componentes mecânicos
- Aplicação em motores e peças complexas

📌 O slide destaca a integração entre modelo CAD, *software* de medição e inspeção física da peça para controle de qualidade industrial.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

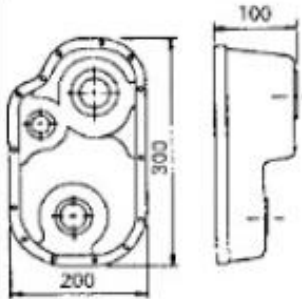
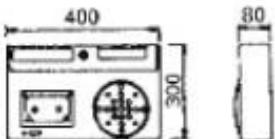
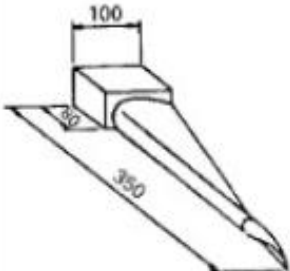


Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Aplicações: Verificação da conformidade dimensional de peças e componentes, medindo superfícies irregulares, como moldes, peças fundidas e componentes com geometrias complexas; digitalizar e criar modelos 3D precisos de peças físicas; calibrar instrumentos de medição e outros.

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

MMC x Método Convencional

		CAIXA DE ENGRENAGENS	TAMPA RÁDIO GRAVADOR	PÁ DE TURBINA
DESENHO DA PEÇA				
ITENS DE MEDIÇÃO		Diâmetros, distâncias entre centros, localização de furos, alturas, etc.	Alturas, localização de furos, diâmetros, passos, distâncias entre centros, etc.	Passo, contorno por secção, alturas, etc.
MÉTODO CONVENCIONAL	INSTRUMENTOS	Paquímetro, micrômetro, padrão de altura, traçador, desempeno, bloco padrão, etc.	Calibrador de altura, bloco padrão, paquímetro, micrômetro, desempeno, etc.	Micrômetro padrão de altura, traçador, desempeno, relógios etc.
	TEMPO	5 horas	25 horas	30 horas
MÁQUINA DE MEDIR	UNID.BÁSICA	1,5 horas (1/3)	8 horas (1/3)	5 horas (1/6)
	COM COMPUTADOR	0,5 horas (1/10)	4 horas (1/6)	2 horas (1/15)

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

O slide compara a Máquina de Medir por Coordenadas (MMC) com o método convencional de medição.

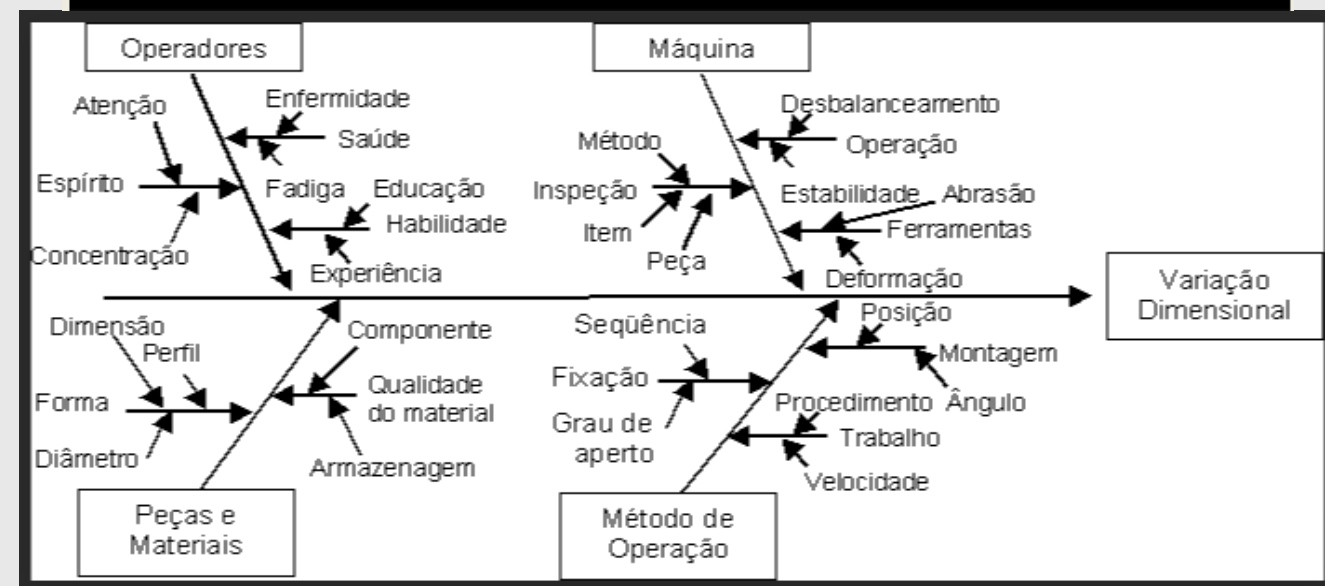
- ◆ Mostra exemplos de peças:
 - Caixa de engrenagens;
 - Tampa de um rádio gravador antigo (anos 1980); e
 - Pá de turbina.
 - ◆ No método convencional:
 - Utiliza vários instrumentos (paquímetro, micrômetro, relógio comparador, bloco padrão etc.);
 - Processo mais demorado; e
 - Maior dependência do operador.
 - ◆ Com a Máquina de Medir por Coordenadas (MMC):
 - Medição automatizada e integrada ao computador;
 - Redução significativa do tempo de inspeção; e
 - Maior precisão e repetibilidade.
- 📌 O slide destaca principalmente a vantagem de tempo e produtividade da MMC em comparação ao método tradicional.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

Fontes de Erros na Medição



O slide apresenta um diagrama de causa e efeito (Ishikawa) mostrando as principais fontes de erros na medição, que podem gerar variações dimensionais.

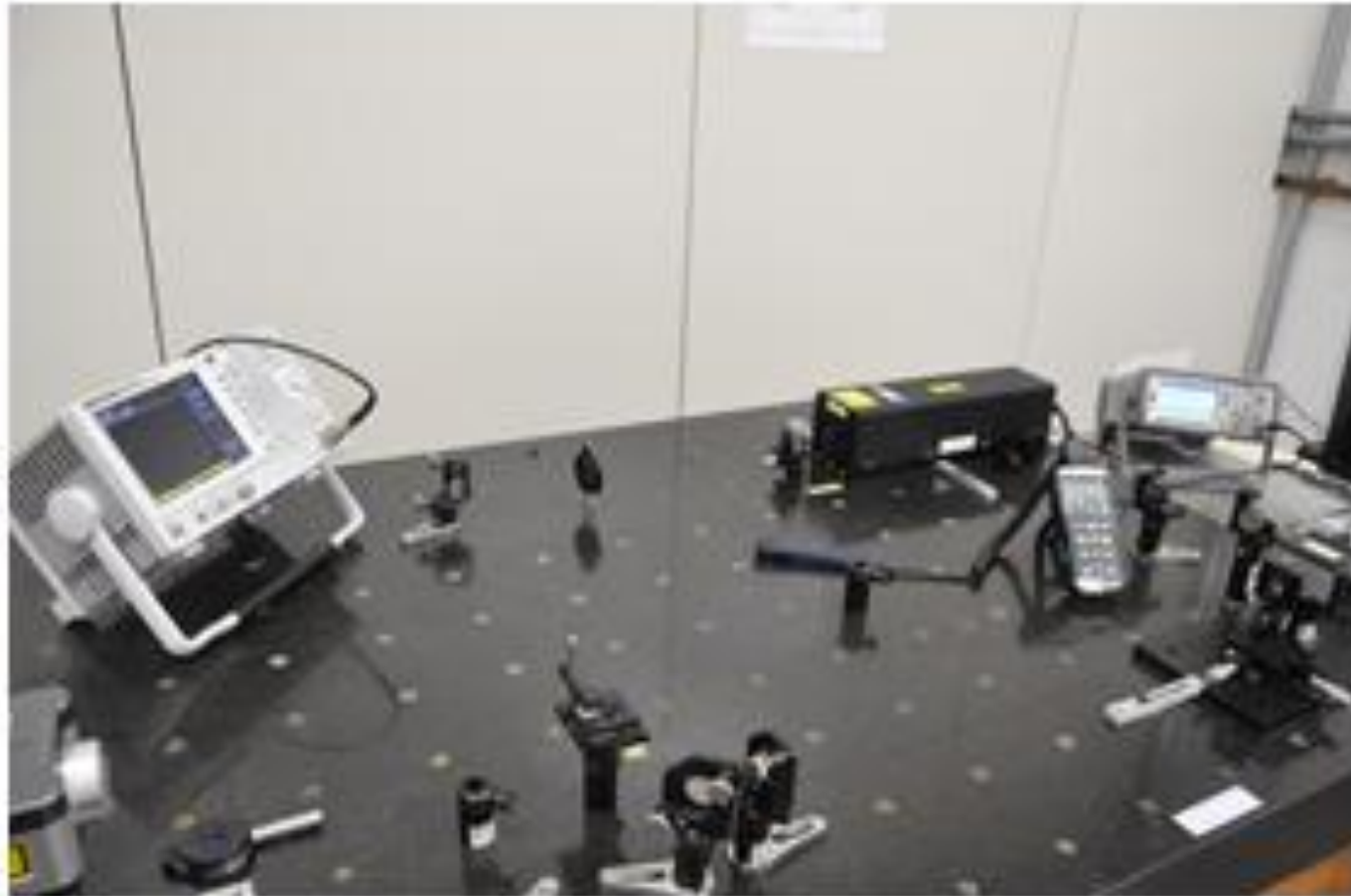
As causas são agrupadas em quatro categorias principais:

- operadores** (atenção, fadiga, experiência),
- máquina** (estabilidade, desgaste de ferramentas),
- peças e materiais** (forma, dimensão, qualidade do material) e
- método de operação** (fixação, sequência, velocidade e posicionamento).



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Laser Interferométrico:



i) O **Laser Interferométrico** é um método avançado de medição utilizado para determinar distâncias com **extrema precisão**.

ii) prover rastreabilidade metrológica a grandeza comprimento e suas derivadas.

Sistema de medição de frequência de *lasers* estabilizados em torno de 633 nm, destacando-se o padrão primário nacional de comprimento (Laser estabilizado de Hélio (He) - Neônio (Ne) / 12712).

Fonte: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/metrologia-cientifica/laboratorios-de-metrologia-do-inmetro/fotometria-e-radiometria/interferometria>





Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Laser Interferométrico:



O slide apresenta **sistemas de medição baseados em laser interferométrico**, utilizados como **padrões de alta precisão em metrologia dimensional**.

As imagens mostram **interferômetros utilizados para calibração de blocos padrão**, garantindo a rastreabilidade ao **padrão primário nacional de comprimento**.



Sistemas de Medição e padrões

(em negrito vamos estudar)

- **Blocos padrão**

Blocos
padrão



Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Os **blocos padrão** são padrões dimensionais de alta precisão usados como referência em metrologia.

- ◆ **Principais finalidades:**

- 1 **Calibração de instrumentos**

- Paquímetros
- Micrômetros
- Relógios comparadores
- Súbitos (Instrumentos de medição utilizados para medir diâmetros internos, como furos e cavidades. É um instrumento comparativo para medição precisa de diâmetros internos)

- 2 **Ajuste e verificação de máquinas**

- Regulagem de dispositivos
- Controle de curso
- Ajuste de ferramentas

- 3 **Montagem de dimensões específicas**

- Podem ser combinados (por aderência molecular) para formar medidas exatas desejadas.

- 4 **Padrão de referência dimensional**

- Servem como base para rastreabilidade metrológica (significa que uma medição pode ser ligada, passo a passo, a um padrão oficial, garantindo confiabilidade, comparabilidade e validade dos resultados).

- 📌 **Resumindo:**

São usados para garantir precisão, calibração e confiabilidade nas medições dimensionais.





Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Blocos padrão

Materiais dos Blocos padrão

Aço

Atualmente é o mais utilizado nas indústrias. O aço é tratado termicamente para garantir a estabilidade dimensional, além de assegurar dureza acima de 800 HV (*Hardness Vickers* - Dureza Vickers).

Metal duro

São blocos geralmente fabricados em carbureto de tungstênio. Hoje, este tipo de bloco-padrão é mais utilizado como bloco protetor. A dureza deste tipo de bloco padrão situa-se acima de 1.500 HV.

Cerâmica

O material básico utilizado é o zircônio. A utilização deste material ainda é recente, e suas principais vantagens são a excepcional estabilidade dimensional e a resistência à corrosão. A dureza obtida nos blocos-padrão de cerâmica situa-se acima de 1400 HV

O que é HV?

HV significa *Hardness Vickers* (Dureza Vickers).

É uma unidade usada para medir a **dureza dos materiais**, ou seja, a resistência que o material oferece à penetração.



Como funciona o ensaio Vickers?

- Utiliza-se um penetrador em formato de **pirâmide de diamante**.
- Aplica-se uma carga conhecida sobre a superfície do material.
- Mede-se a diagonal da impressão deixada.
- A dureza é calculada pela relação entre força aplicada e área da impressão.



Interpretação

- 800 HV → material duro (ex: aço tratado)
- 1400–1500 HV → material muito duro (metal duro, cerâmica)



Quanto maior o valor em HV, maior a dureza do material.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Blocos padrão

Blocos padrão



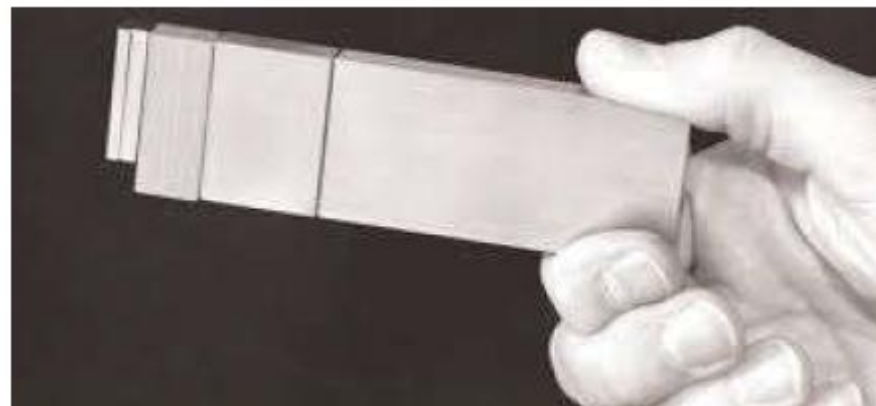
A figura apresenta **blocos padrão**, que são peças de alta precisão utilizadas como **referência para calibração e verificação de instrumentos de medição**, como paquímetros e micrômetros.

Eles podem ser combinados para obter diferentes dimensões e geralmente são armazenados em **estojos organizados** para proteção e conservação.

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Blocos padrão

Empilhamento



Técnica de Empilhamento (Blocos Padrão)

A técnica de **empilhamento** consiste em unir blocos padrão para formar uma dimensão exata desejada.

◆ Como é feita:

- 1 Limpa-se cuidadosamente as superfícies dos blocos.
- 2 Encosta-se um bloco no outro com leve pressão.
- 3 Realiza-se um pequeno movimento de deslizamento/rotação.
- 4 Os blocos aderem entre si por **aderência molecular** (efeito de *wringing* - aderência por deslizamento ou aderência molecular).

◆ Objetivo:

- Obter medidas específicas combinando diferentes blocos.
- Garantir alta precisão dimensional.

 **É essencial evitar sujeira, umidade e contato direto com as mãos para não comprometer a precisão.**



Sistemas de Medição e padrões

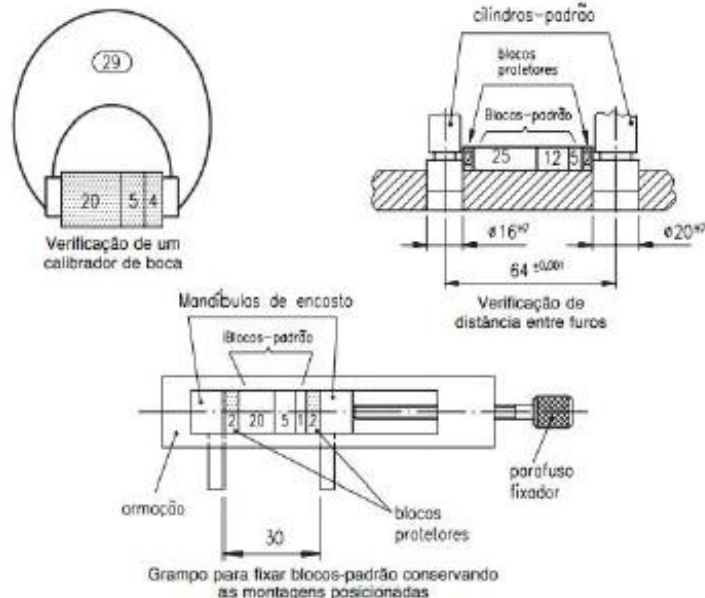
- Blocos padrão – Aplicações (Relembrando...)



Algumas das principais aplicações dos Blocos Padrão:

i) Controle de Qualidade e Inspeção de Peças; ii) Montagem e Ajuste de Componentes; iii) Calibração de Instrumentos; e iv) Verificação de Protótipos e Peças Personalizadas, e outras.

Blocos padrão - Aplicações



- A figura apresenta **algumas aplicações dos blocos padrão na metrologia dimensional.**
- Ele destaca que esses blocos são utilizados principalmente no **controle de qualidade e inspeção de peças, montagem e ajuste de componentes, calibração de instrumentos de medição e verificação de protótipos ou peças especiais.**
- As imagens ilustram exemplos práticos de uso dos blocos padrão em dispositivos de medição e verificação dimensional.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Blocos padrão

Calibração
de
Paquímetros

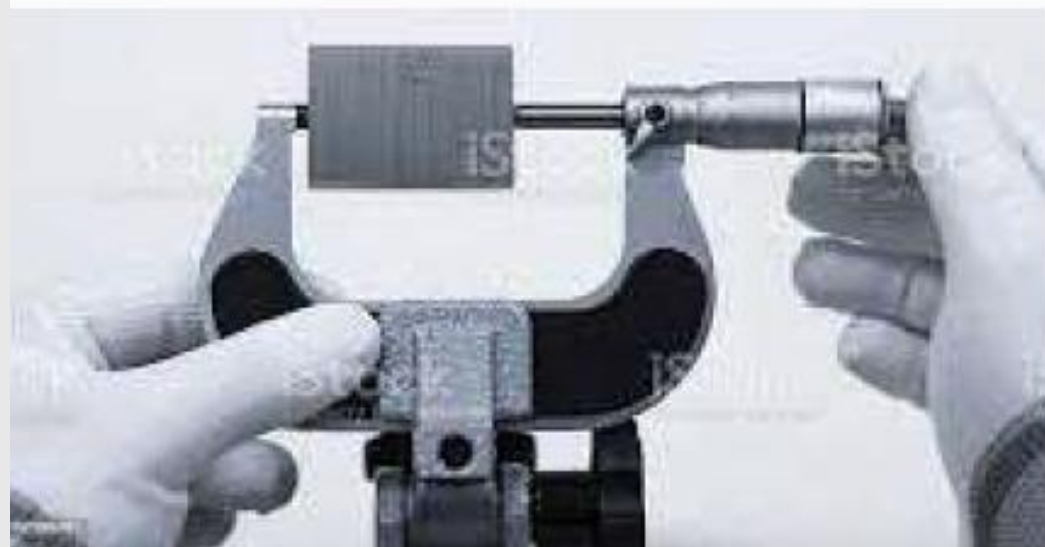


Neste slide é mostrado **aplicações dos blocos padrão**, como **inspeção de peças**, **ajuste de componentes**, **calibração de instrumentos** e **verificação de protótipos**.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Blocos padrão



Calibração de Micrômetros

A figura mostra o **uso de blocos padrão para calibrar micrômetros**, garantindo a **precisão das medições dimensionais**.

Neste slide, apresenta-se uma **comparação do Laboratório de Metrologia Dimensional da UNIFEI** em dois períodos, **1986 e 2026**, evidenciando a **evolução da infraestrutura e dos equipamentos de medição ao longo do tempo**.



2026



1986

Laboratório de Metrologia Dimensional
Campus Prof. José Rodrigues Seabra - Sede - Itajubá/MG
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI



Laboratório de Metrologia Dimensional
Condições Ambientais

Temperatura – T (°C)

Medição geral e calibração de instrumentos:

$T = (20 \pm 1) [^{\circ}\text{C}]$

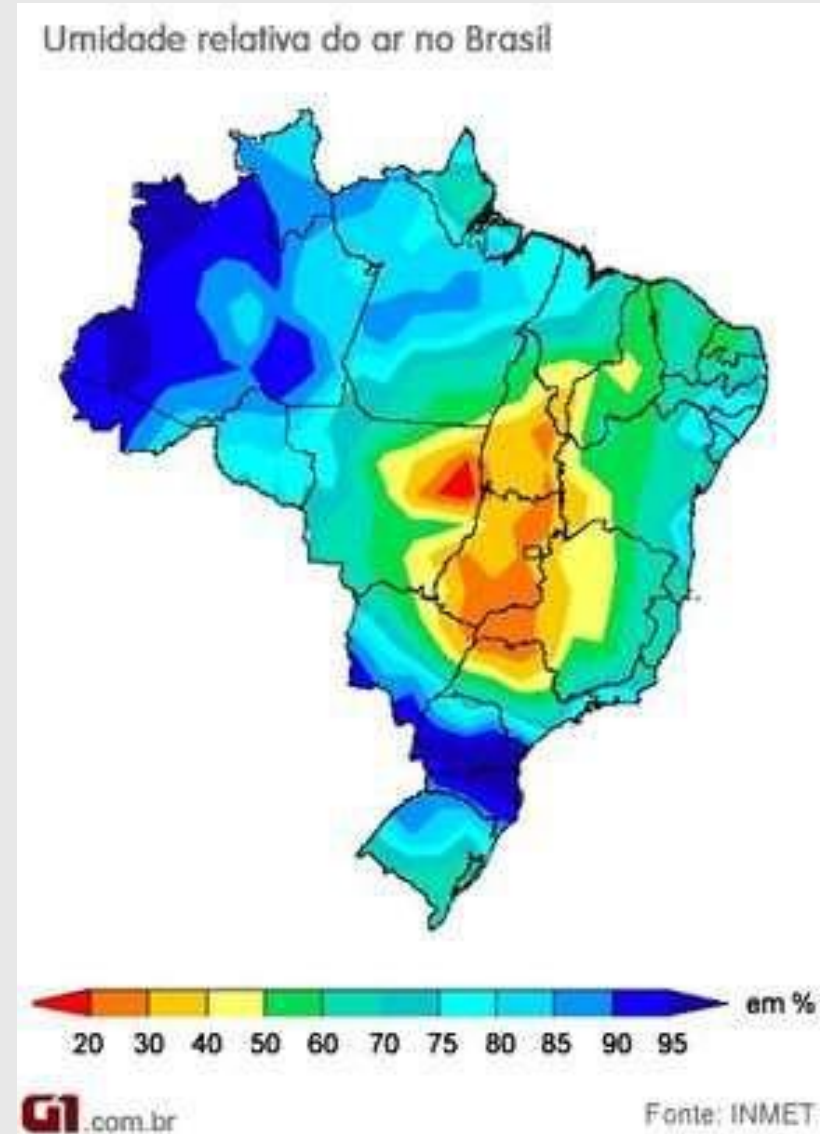
Calibração de blocos padrão:

$T = (20,0 \pm 0,5) [^{\circ}\text{C}]$

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI



O slide mostra o mapa do Brasil com seus estados e, ao lado, um mapa da distribuição da umidade relativa do ar no país, indicando as variações climáticas entre as regiões.





Umidade Relativa do Ar - U
[%]:
 $U = (50 \pm 5) [\%]$

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI



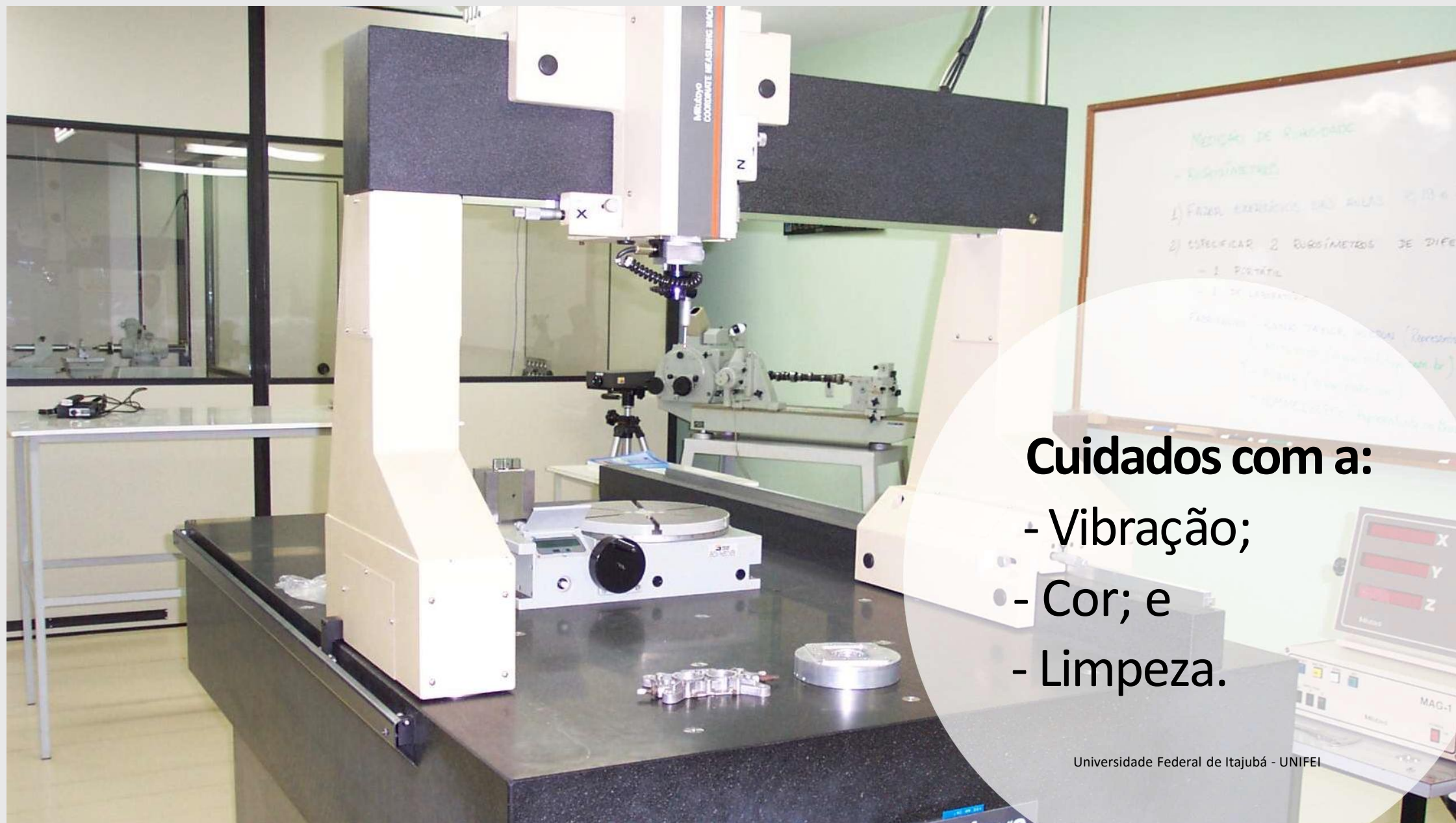


Iluminação/Illuminamento
- **IL [lumens/m²] ou [lux]:**

$$IL = (700 \sim 750) \text{ [lux]}$$

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI



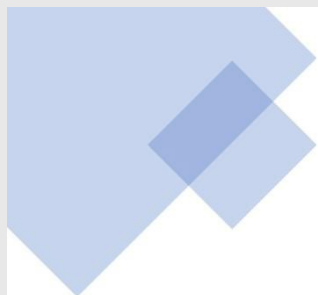


Cuidados com a:

- Vibração;
- Cor; e
- Limpeza.

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI





Obrigado!

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI



EPRI14 – Metrologia

02

Medidas e conversões





Introdução

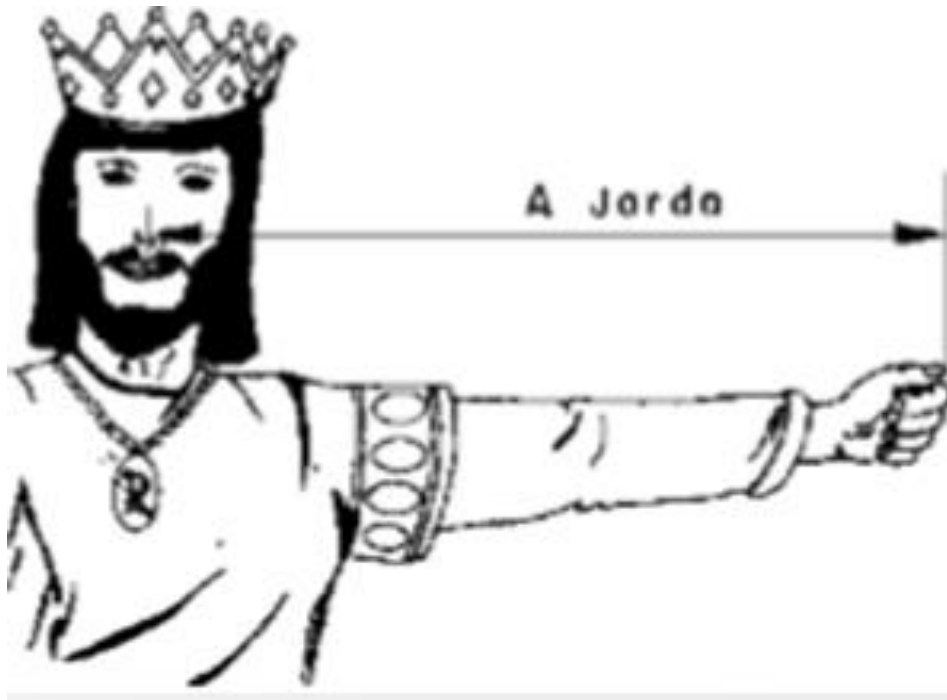
- O metro (m) é a unidade de medida do Sistema Internacional.
- Existem outras unidades de medidas como milímetro e a polegada.
- O sistema inglês é muito utilizado na Inglaterra e nos Estados Unidos, e é também no Brasil devido ao grande número de empresas procedentes desses países.





Sistema Inglês

- O sistema inglês tem como padrão a jarda.
- A jarda teria sido definida, como a distância entre a ponta do nariz até o polegar, com o braço bem esticado do rei Henrique I.





Sistema Inglês

- Também foi instituídas por leis, fixadas pelos reis, as relações entre a jarda, o pé e polegada.

RELAÇÕES : JARDA – PÉ - POLEGADA

1 PÉ

12 POLEGADAS

1 JARDA

3 PÉS

1 MILHA TERRESTRE

1.760 JARDAS



Leitura de medida em polegadas

- A polegada divide-se em frações ordinárias com “DENOMINADORES” iguais a:

Representação	Lê-se
$1/2$ “	Meia polegada
$1/4$ “	Um quarto de polegada
$1/8$ “	Um oitavo de polegada
$1/16$ “	Um dezesseis avos de polegada
$1/32$ “	Um trinta e dois avos de polegada
$1/64$ “	Um sessenta e quatro avos de polegada
$1/128$ “	Um cento e vinte oito avos de polegada

- Os “NUMERADORES” das frações devem ser números ímpares. Quando o **numerador** for **par**, deve-se proceder a simplificação.



Sistema Inglês – Fração Decimal

- A divisão da polegada em submúltiplos, ao invés de facilitar, complica os cálculos na indústria.
- Por essa razão, criou-se a divisão decimal da polegada. Na prática subdivide-se em milésimo e décimos de milésimo.

Exemplo

- $1.003'' = 1$ polegada e 3 milésimos.
- $1.1247'' = 1$ polegada e 1247 décimos de milésimos.
- $0.725'' = 725$ milésimos de polegadas.
- Nas medições que requer maior exatidão, utiliza-se o milionésimo de polegada, chamada de micropolegada.
- Em inglês, “micro inch” ou “ μ inch”

$$0.000001'' = 1 \mu \text{ inch} = 1 \times 10^{-6} \text{ inch}$$



Conversões

- Sempre que uma medida estiver em uma unidade diferente, do que a recomendável durante a utilização de um equipamento, deve-se convertê-la (ou seja, mudar a unidade de medida).

Converter polegada fracionária em milímetro

- Para realizar essa conversão deve-se multiplicar o valor que está em polegada fracionada por 25,4 mm

$$1'' \text{ -----} > 25,4 \text{ mm}$$

Exemplos

a) $2'' = 2 \times 25,4 = 50,8 \text{ mm}$

b) $3/8'' = 0,375 \times 25,4 = 9,525 \text{ mm}$

c) $5/16'' = 0,3125 \times 25,4 = 7,937 \text{ mm}$

d) $11/32'' = 0,34375 \times 25,4 = 8,731 \text{ mm}$



Converter milímetro para polegada fracionária

- é feita dividindo-se o valor em milímetro por 25,4 e multiplicando-o por 128.
- O resultado deve ser escrito como numerador de uma fração cujo denominador é 128.
- Caso o numerador não for um número inteiro, deve-se arredondá-lo para o número inteiro mais próximo.

Exemplos

a) 12,7 mm

$$= [(12,7/25,4) \times 128]/128 = [0,5 \times 128]/128 = 64/128 = 1/2''$$

b) 23,5 mm

$$= [(23,5/25,4) \times 128]/128 = [0,925 \times 128]/128 = 118/128 = 59/64''$$

c) 16,4 mm

$$= [(16,4/25,4) \times 128]/128 = [0,646 \times 128]/128 = 83/128''$$



Regra prática

- Para converter milímetro em polegada ordinária, basta multiplicar o valor em milímetro por 5,04, mantendo-se 128 como denominador. Arredondar, se necessário.

Exemplos

a) 12,7 mm

$$= (12,7 \times 5,04) / 128 = 64 / 128 = 1/2''$$

b) 23,5 mm

$$= (23,5 \times 5,04) / 128 = 118,44 / 128 = 118 / 128 = 59/64''$$

c) 16,4 mm

$$= [(16,4 \times 5,04)] / 128 = 82,67 / 128 = 83 / 128''$$

Observação

- O multiplicador foi obtido da relação $128 / 25,4 = 5,03937$, que arredondada é igual a 5,04.



Converter polegada milesimal em polegada fracionária

- É feita quando se multiplica a medida expressa em milésimo por uma das divisões da polegada, que passa a ser o denominador da polegada fracionária resultante.

Exemplos

a) $0.125''$

$$= 0.125 \times 128 = 16''$$

$$16/128 = 1/8''$$

b) $0.470''$

$$= 0.470 \times 128 = 60,16$$

$$60/128 = 15/32''$$

c) $1.352''$

$$= 0.352 \times 128 = 45/128$$

$$1 \frac{45}{128}''$$



**A DIVISÃO É SEMPRE
POR 128!!!**



Converter polegada fracionária em polegada milesimal

- Divide-se o numerador pelo seu denominador da fração .

Exemplos

a) $5/8''$

= $0.625''$

b) $5/16''$

= $0.312''$

c) $7/64''$

= $0.109''$



Converter milímetro em polegada milesimal

- Basta dividir o valor por 25,4 mm

Exemplos

a) 5,08 mm

$$= 5,08/25,4 = 0.200''$$

b) 18 mm

$$= 18/25,4 = 0.709''$$

c) 43 mm

$$= 43/25,4 = 1.693''$$

EPRI14 – Metrologia

03

Paquímetro





Paquímetro

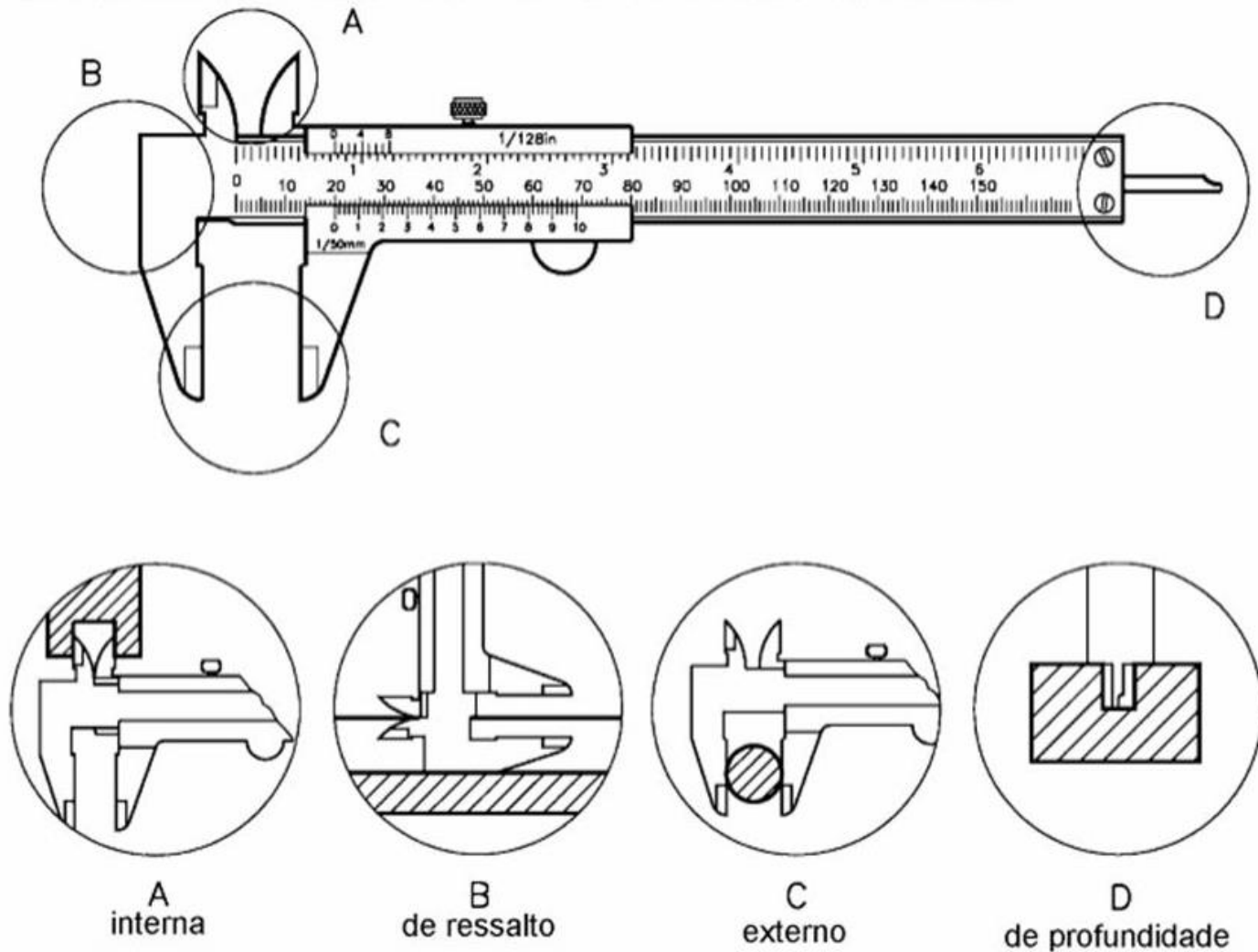
- **Paquímetro:** O paquímetro é um instrumento usado para medir as dimensões lineares internas, externas e de profundidade de uma peça.
- Consiste em uma régua graduada, com encosto fixo, sobre a qual desliza um cursor.
- Paquímetro é usado quando a quantidade de peças que pretende-se medir é pequena.
- As superfícies do paquímetro são planas e polidas, e o instrumento geralmente é feito de aço inoxidável.





Paquímetro

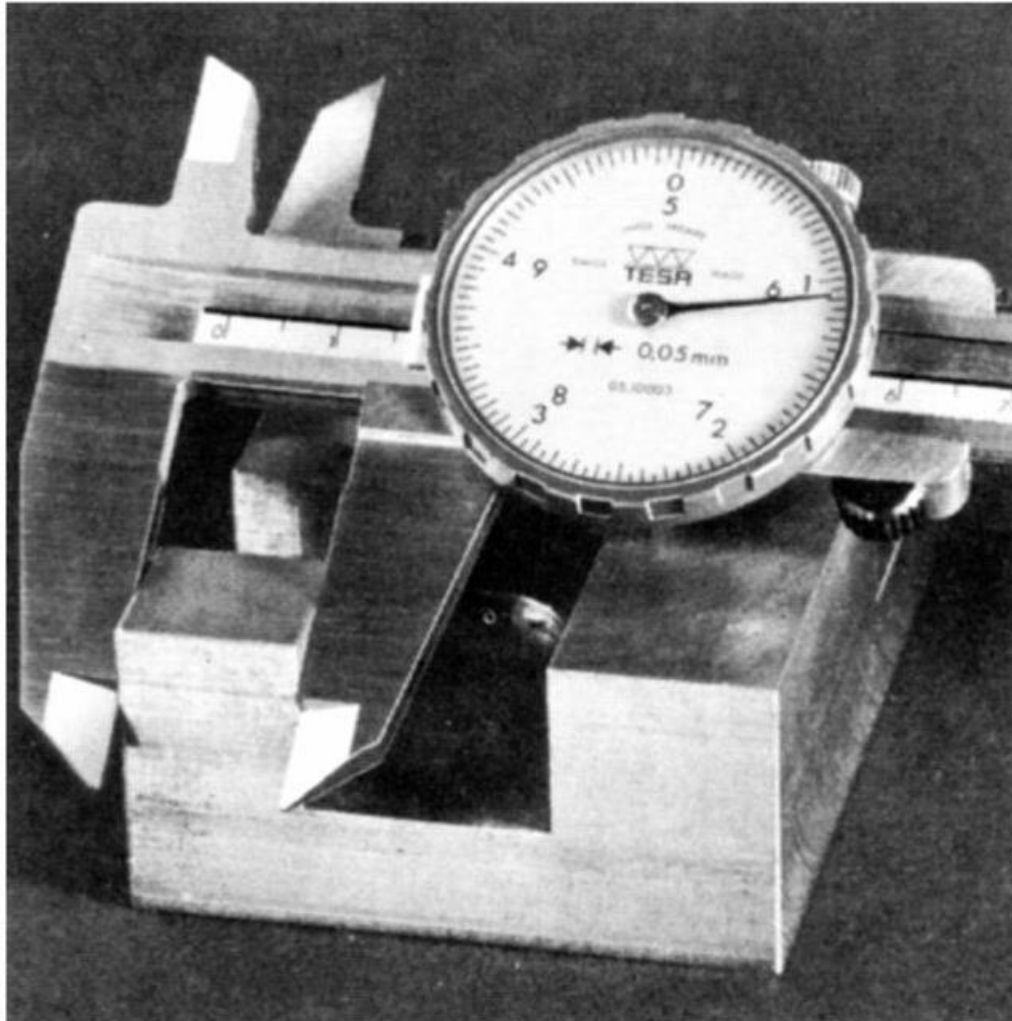
- **Paquímetro Universal:** É utilizado em medições **internas**, **externas**, de **profundidade** e de **ressaltos**.





Paquímetro

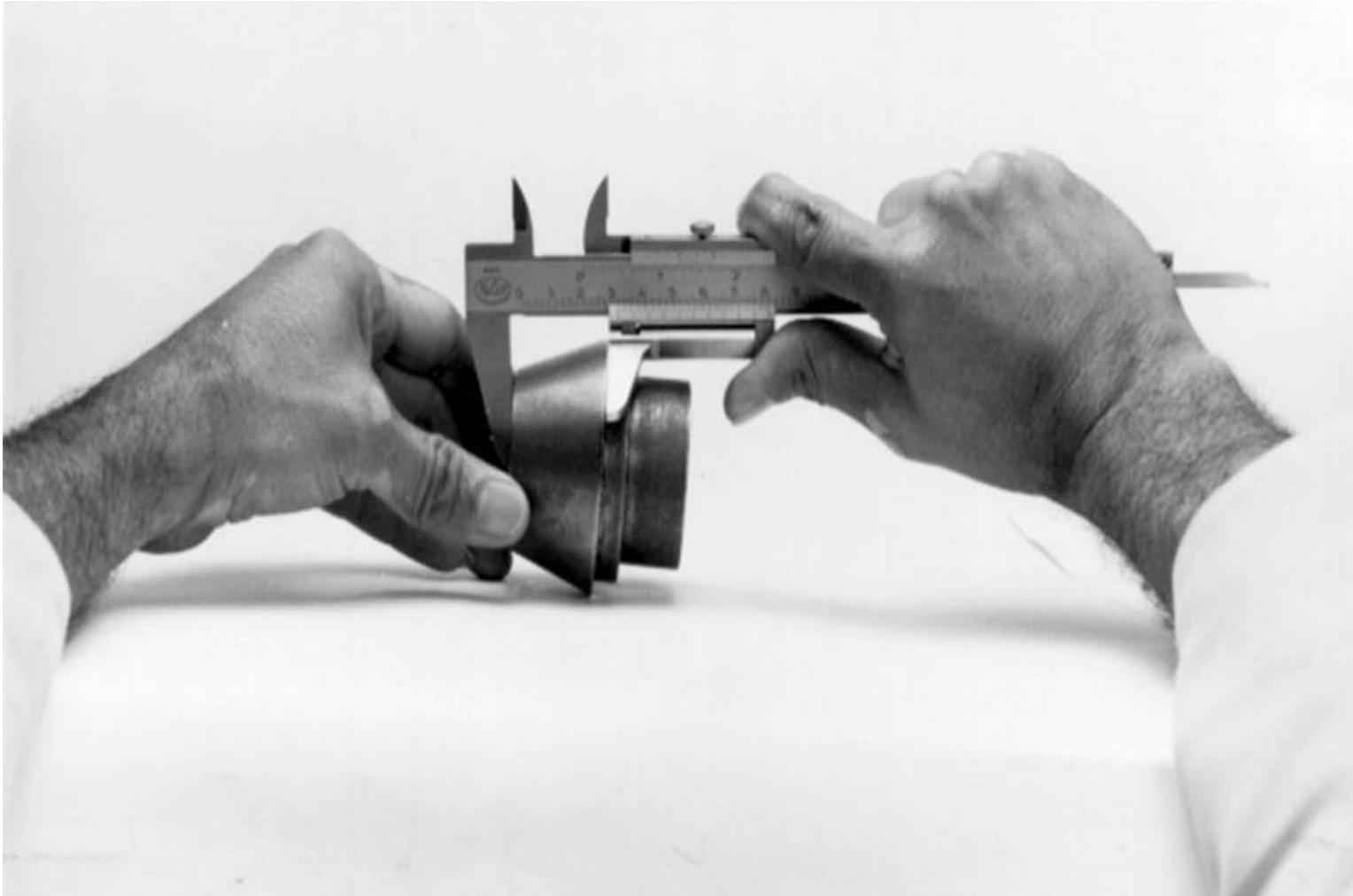
- **Paquímetro Universal com relógio:** O relógio acoplado ao cursor facilita a leitura, agilizando a medição.





Paquímetro

- **Paquímetro com bico móvel (basculante):** Empregado para medir peças cônicas ou peças com rebaixos de diâmetros diferentes.

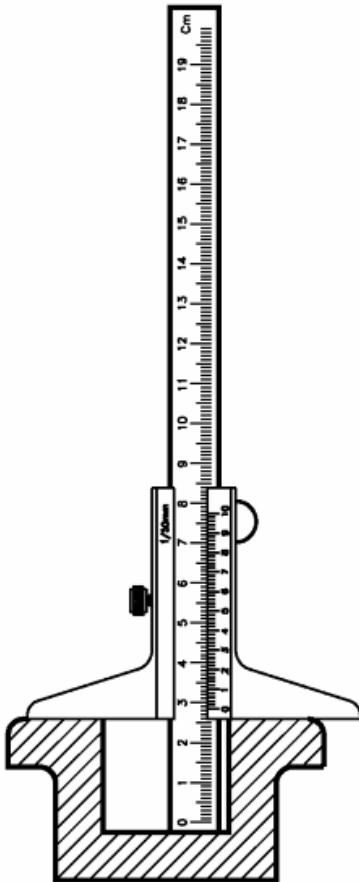




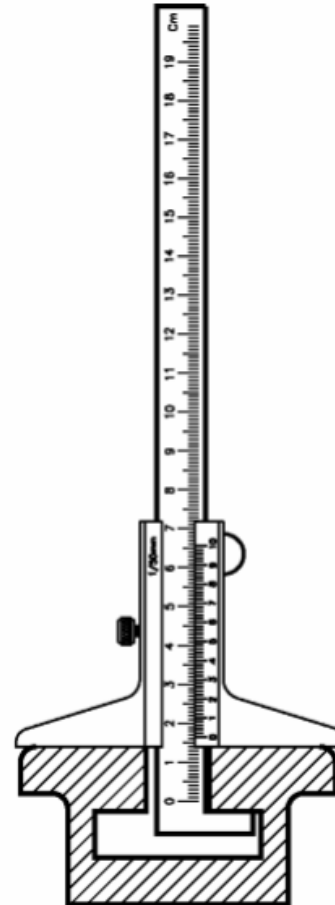
Paquímetro

- **Paquímetro de profundidade:** Serve para medir a profundidade de furos não vazados, rasgos, rebaixos etc.

haste simples



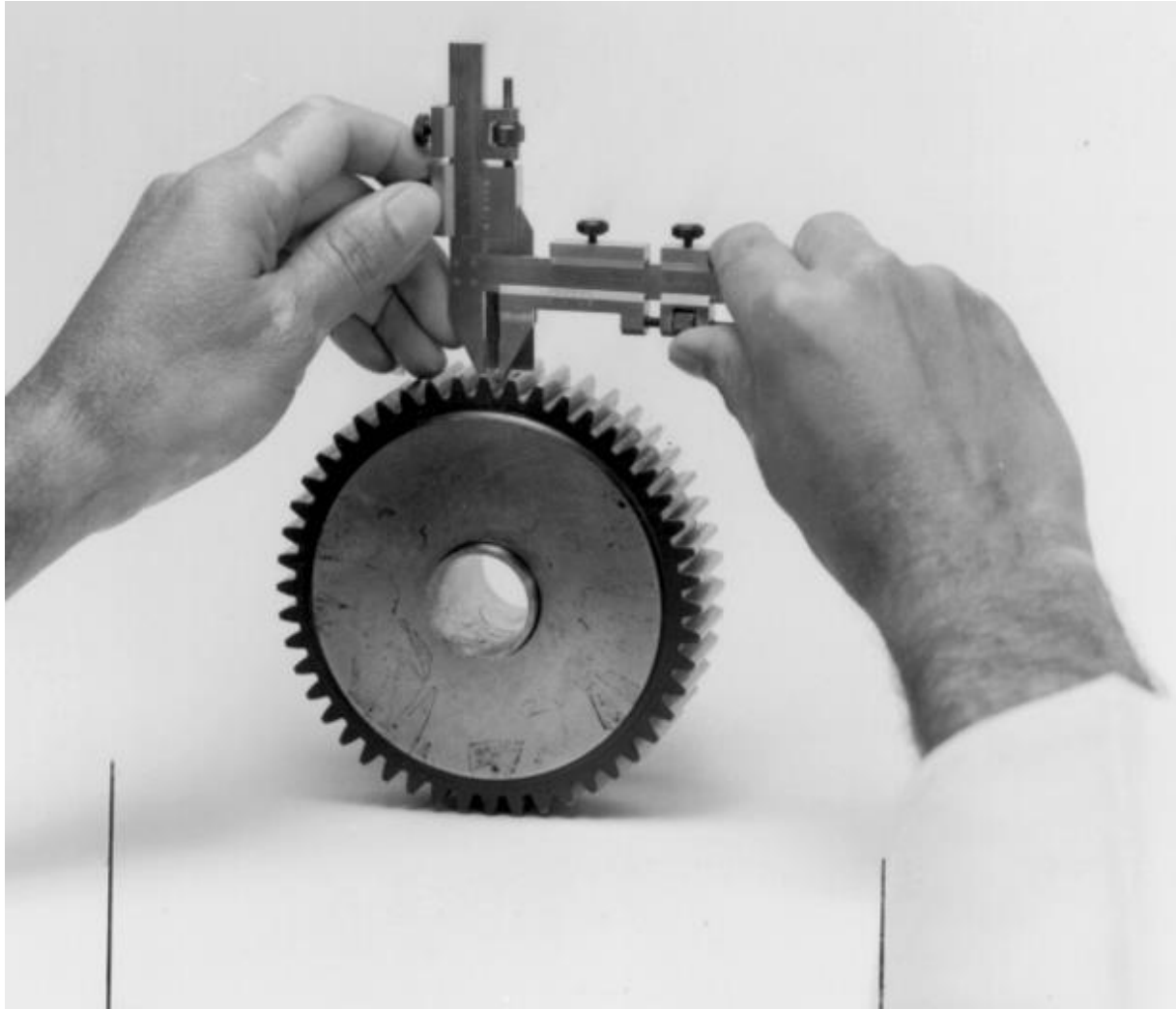
haste com gancho





Paquímetro

- **Paquímetro duplo:** Serve para medir dentes de engrenagens.





Paquímetro

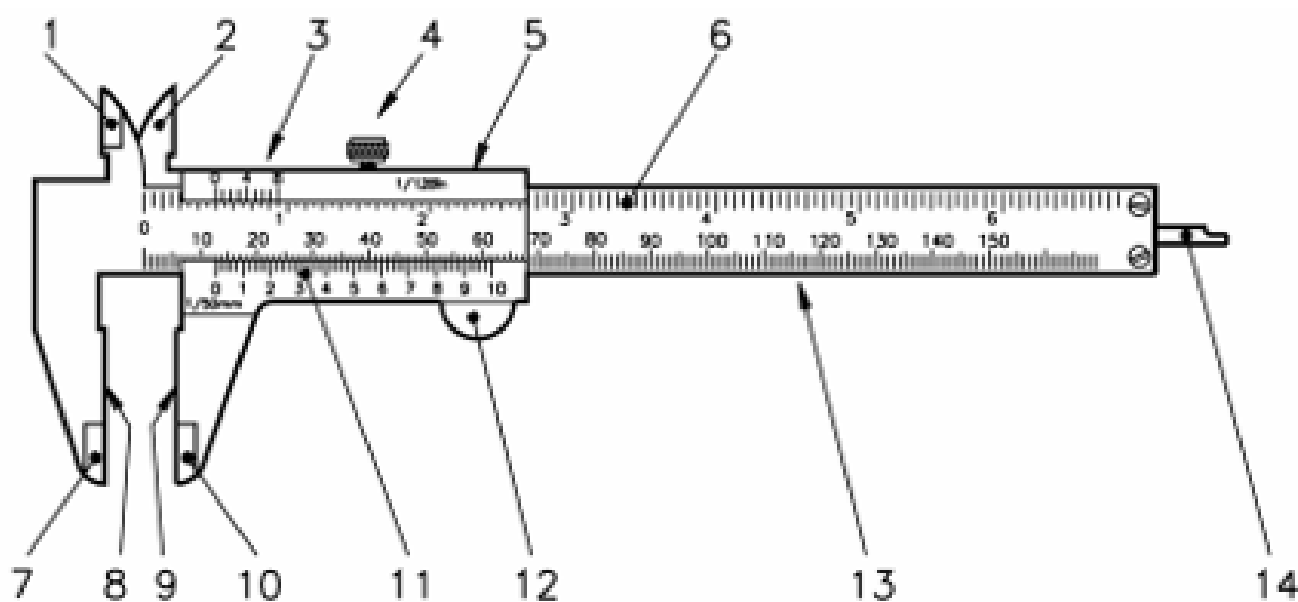
- **Paquímetro digital:** Utilizado para leitura rápida, livre de erro de paralaxe, e ideal para controle estatístico.





Paquímetro

Componentes



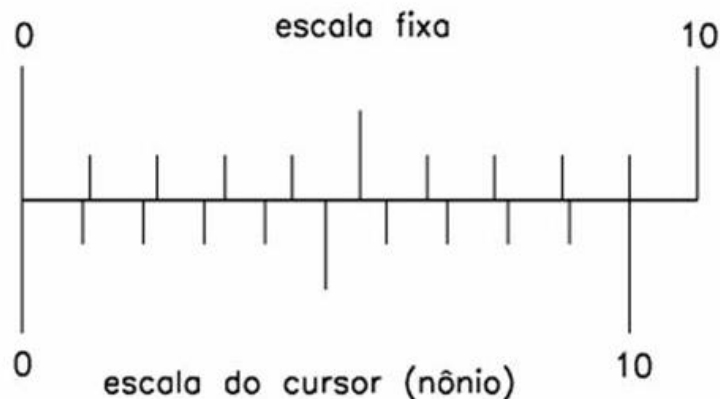
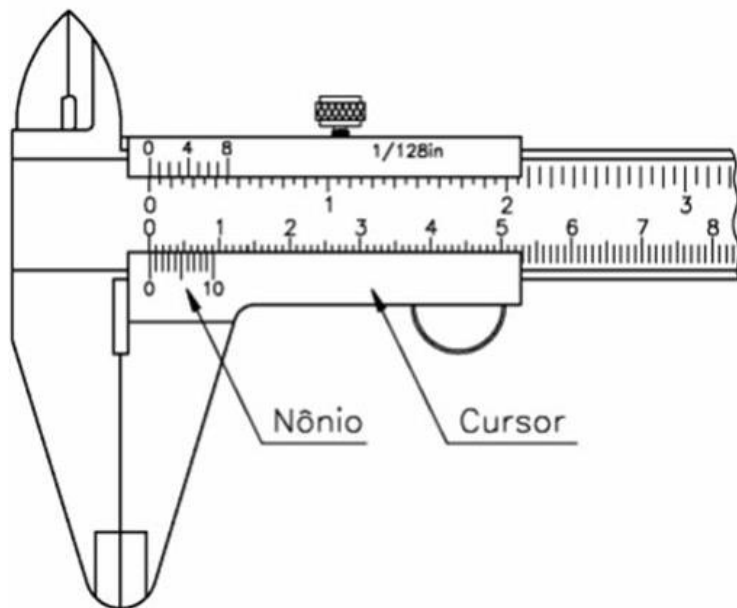
1. orelha fixa 2. orelha móvel 3. nônio ou vernier (polegada)
4. parafuso de trava 5. cursor 6. escala fixa de polegadas
7. bico fixo 8. encosto fixo 9. encosto móvel 10. bico móvel
11. nônio ou vernier (milímetro) 12. impulsor
13. escala fixa de milímetros 14. haste de profundidade



Paquímetro

Princípio de funcionamento

- A escala do cursor é chamada de nônio ou vernier, em homenagem ao português Pedro Nunes e ao francês Pierre Vernier, considerados seus inventores.
- No sistema métrico, existem paquímetros em que o nônio possui dez divisões equivalentes a nove milímetros (9mm). Há, portanto, uma diferença de 0,1 mm entre o primeiro traço da escala fixa e o primeiro traço da escala móvel.





Paquímetro

Cálculo de resolução

- As diferenças entre a escala fixa e a escala móvel de um paquímetro podem ser calculadas pela sua resolução.
- A resolução é a menor medida que o instrumento oferece.

$$\text{Resolução} = \frac{\text{UEF}}{\text{NDN}}$$

- Onde:

UEF = Unidade da escala fixa

NDN = número de divisões do nôncio



Paquímetro

Cálculo de resolução

- Nônio com 10 divisões:

$$\text{Resolução} = \frac{1\text{mm}}{10} = 0,1\text{mm}$$

- Nônio com 20 divisões:

$$\text{Resolução} = \frac{1\text{mm}}{20} = 0,05\text{mm}$$

- Nônio com 50 divisões:

$$\text{Resolução} = \frac{1\text{mm}}{50} = 0,02\text{mm}$$



Paquímetro

Como fazer a leitura no sistema métrico?

1. Na escala fixa ou principal do paquímetro, a leitura feita antes do zero do nônio corresponde à leitura em milímetro.
2. Em seguida, você deve contar os traços do nônio até o ponto em que um deles coincidir com um traço da escala fixa.
3. Depois, você soma o número que leu na escala fixa ao número que leu no nônio.

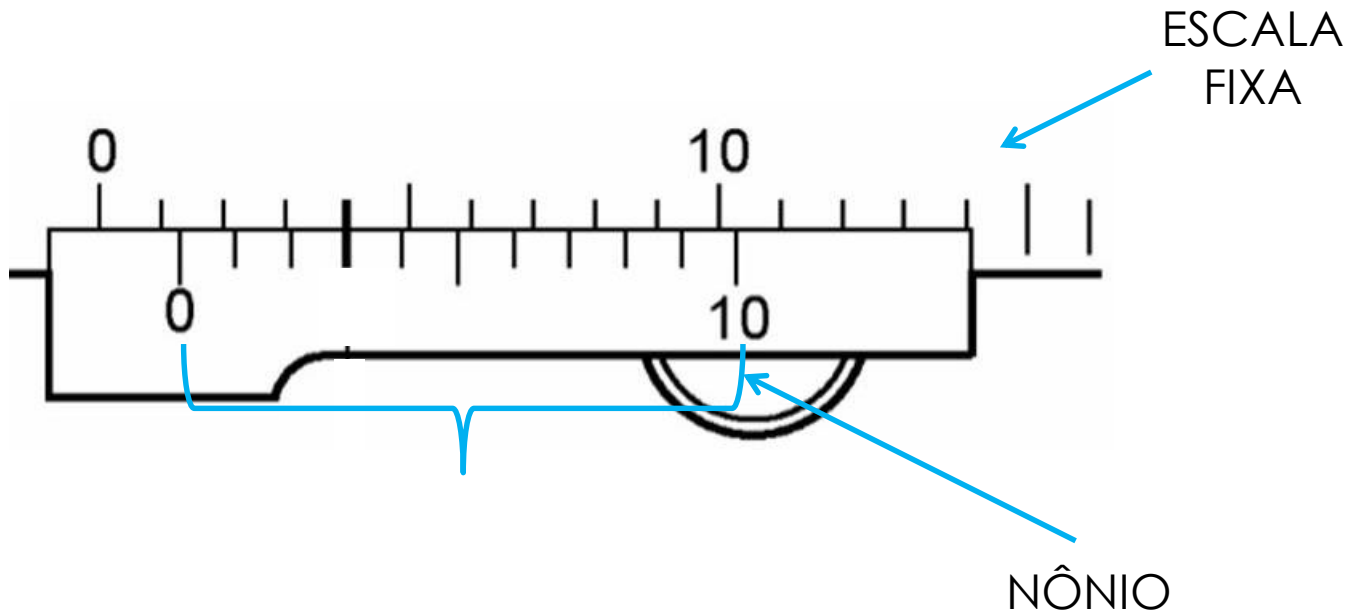


Paquímetro

Como fazer a leitura no sistema métrico?

- Exemplo 1 : Escala em milímetro e nônio com 10 divisões.

Passo 1: Calcular a resolução do equipamento:



$$\text{Resolução} = \frac{1 \text{ mm}}{10} = 0,1 \text{ mm}$$

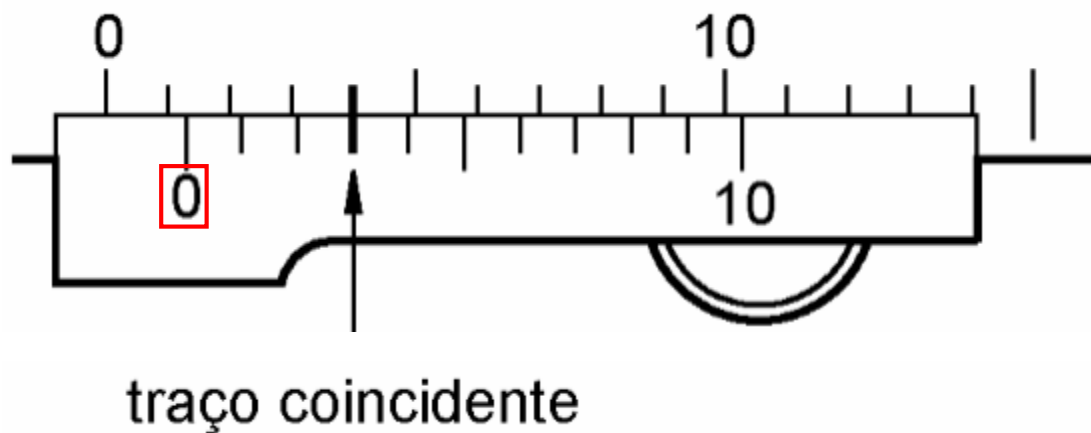


Paquímetro

Como fazer a leitura no sistema métrico?

- Exemplo 1 : Escala em milímetro e nônio com 10 divisões.

Passo 2: Fazer a leitura da medição



Leitura

Escala Fixa: 1,0 mm

Leitura do nônio: 0,3 mm

Resultado da leitura de medição = $1,0 + 0,3 = 1,3$ mm

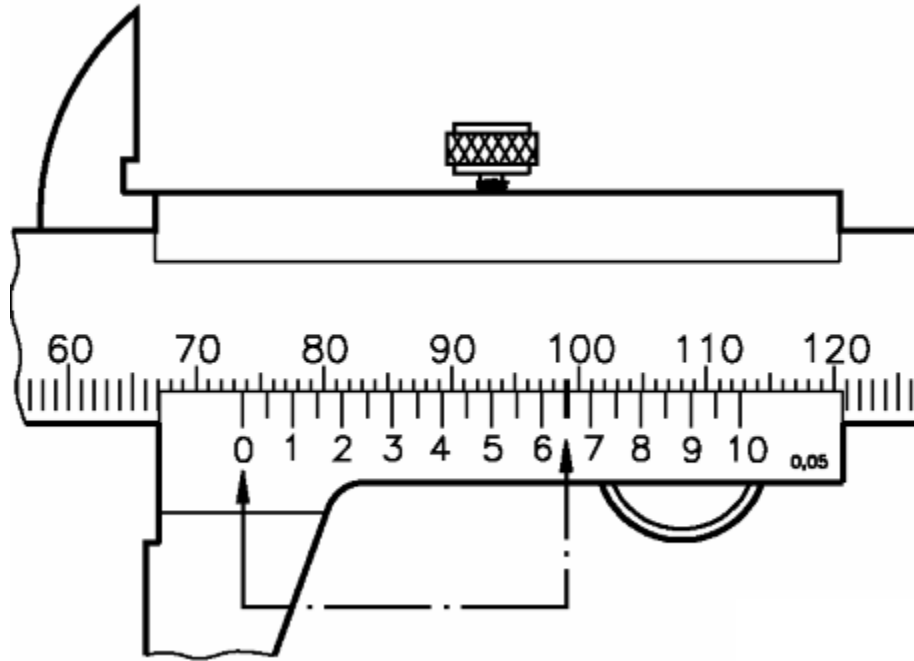


Paquímetro

Como fazer a leitura no sistema métrico?

- Exemplo 2 : Escala em milímetro e nônio com 20 divisões.

Passo 1: Calcular a resolução do equipamento:



$$\text{Resolução} = \frac{1 \text{ mm}}{20} = 0,05 \text{ mm}$$

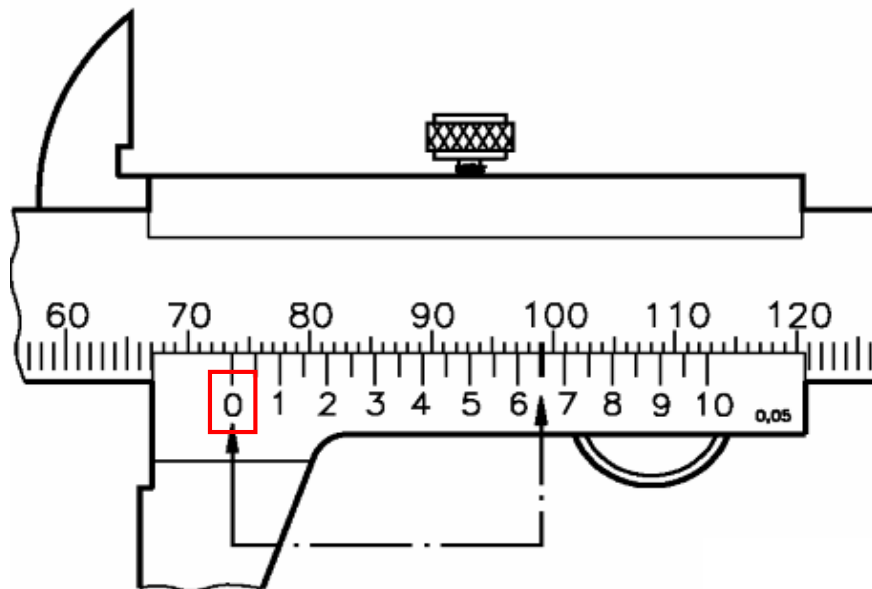


Paquímetro

Como fazer a leitura no sistema métrico?

- Exemplo 2 : Escala em milímetro e nônio com 20 divisões.

Passo 2: Fazer a leitura da medição



Leitura

1º) Leitura da escala fixa: 73,00 mm

2º) Leitura do nônio: ($= 13 \times 0,05 = 0,65$ mm)

Resultado da leitura de medição = $73,00 + 0,65 = 73,65$ mm



Paquímetro

Como fazer a leitura em polegada milesimal?

- No paquímetro em que se adota o sistema inglês, cada polegada da escala fixa divide-se em 40 partes iguais.
- Cada divisão corresponde a: (que é igual a .025")
- Como o nôncio tem 25 divisões, a resolução desse paquímetro é:

$$\text{Resolução} = \frac{0.025''}{25} = 0.001''$$



Paquímetro

Como fazer a leitura em polegada milesimal?

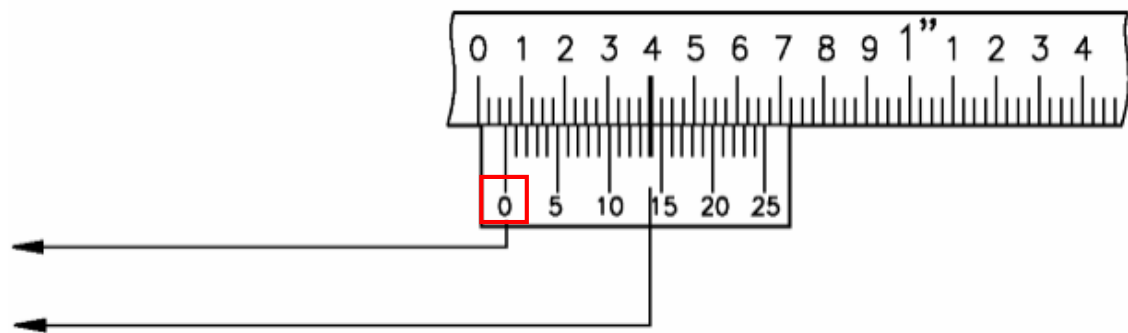
- O procedimento para leitura é o mesmo que para a escala em milímetro.
- Contam-se as unidades .025" que estão à esquerda do zero (0) do nônio e, a seguir, somam-se os milésimos de polegada indicados pelo ponto em que um dos traços do nônio coincide com o traço da escala fixa.

Leitura:

.050" → escala fixa

+ .014" → nônio

.064" → total





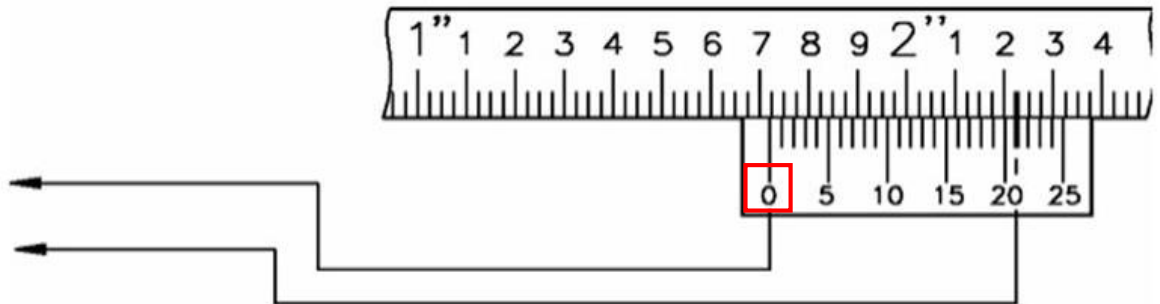
Paquímetro

Como fazer a leitura em polegada milesimal?

- Mais um exemplo:

Leitura:

1.700" → escala fixa
+ .021" → nônio
1.721" → total





Paquímetro

Como fazer a leitura em polegada fracionada?

- No sistema inglês, a escala fixa do paquímetro é graduada em polegada e frações de polegada.
- Esses valores fracionários da polegada são complementados com o uso do nônio.
- Para utilizar o nônio, precisamos saber calcular sua resolução:

$$\text{Resolução} = \frac{UEF}{NDN}$$

Sendo:

$$UEF = \frac{1}{16} \quad NDN = 8$$

$$\text{Resolução} = \frac{\frac{1}{16}}{8} = \frac{1}{16} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{128}$$

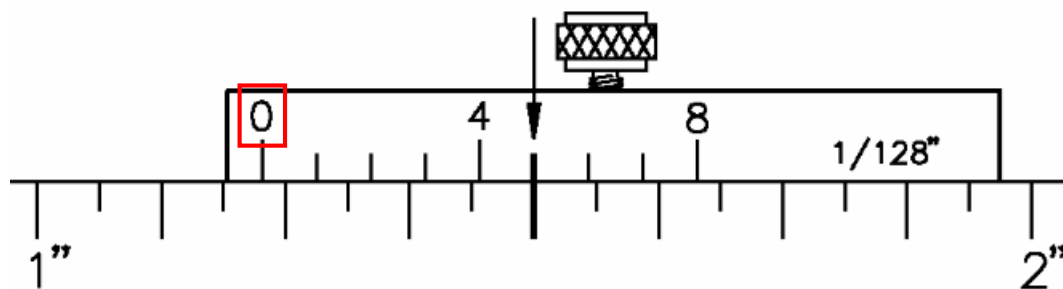


Paquímetro

Como fazer a leitura em polegada fracionada?

- Assim, cada divisão do nônio vale $\frac{1}{128}$.
- Duas divisões corresponderão $\frac{2}{128}$ ou $\frac{1}{64}$ e assim por diante.

Exemplo



$$1 + \frac{3''}{16}$$

Escala Fixa

$$\frac{5}{128}$$

Escala Nônio

$$\text{Leitura} = 1 + \frac{3''}{16} + \frac{5}{128} = \frac{16}{16} + \frac{3}{16} + \frac{5}{128} = \frac{128 + 24 + 5}{128} = \frac{128 + 29}{128}$$

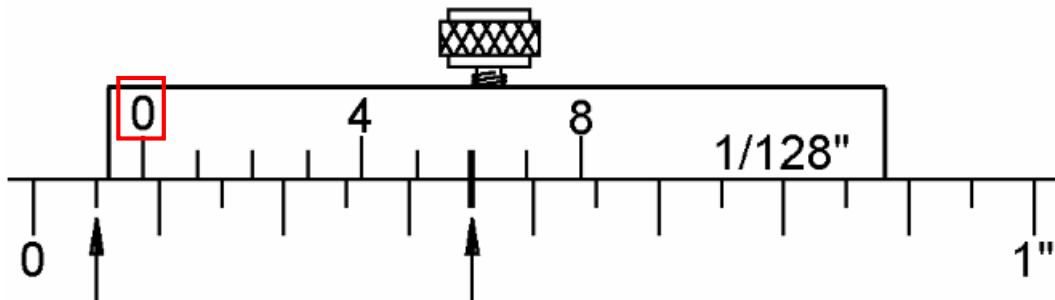
$$\text{Leitura} = \frac{128 + 29}{128} = \frac{128}{128} + \frac{29}{128} = 1 + \frac{29}{128} = 1 \frac{29''}{128}$$



Paquímetro

Como fazer a leitura em polegada fracionada?

- Mais um exemplo



$$\text{Leitura} = \frac{1}{16} + \frac{3}{64} = \frac{4+3}{64} = \frac{7}{64}$$

- Leitura:

$$\frac{1''}{16}$$

Escala Fixa

$$\frac{6}{128} = \frac{3}{64}$$

Escala Nônio



Paquímetro

Correta utilização (alguns cuidados)

Erros de leitura:

- Erros de paralaxe: Dependendo do ângulo de visão do operador, pode ocorrer o erro por paralaxe, pois devido a esse ângulo, aparentemente há coincidência entre um traço da escala fixa com outro da móvel.
- Toda leitura deve ser feita perpendicularmente em relação aos olhos.

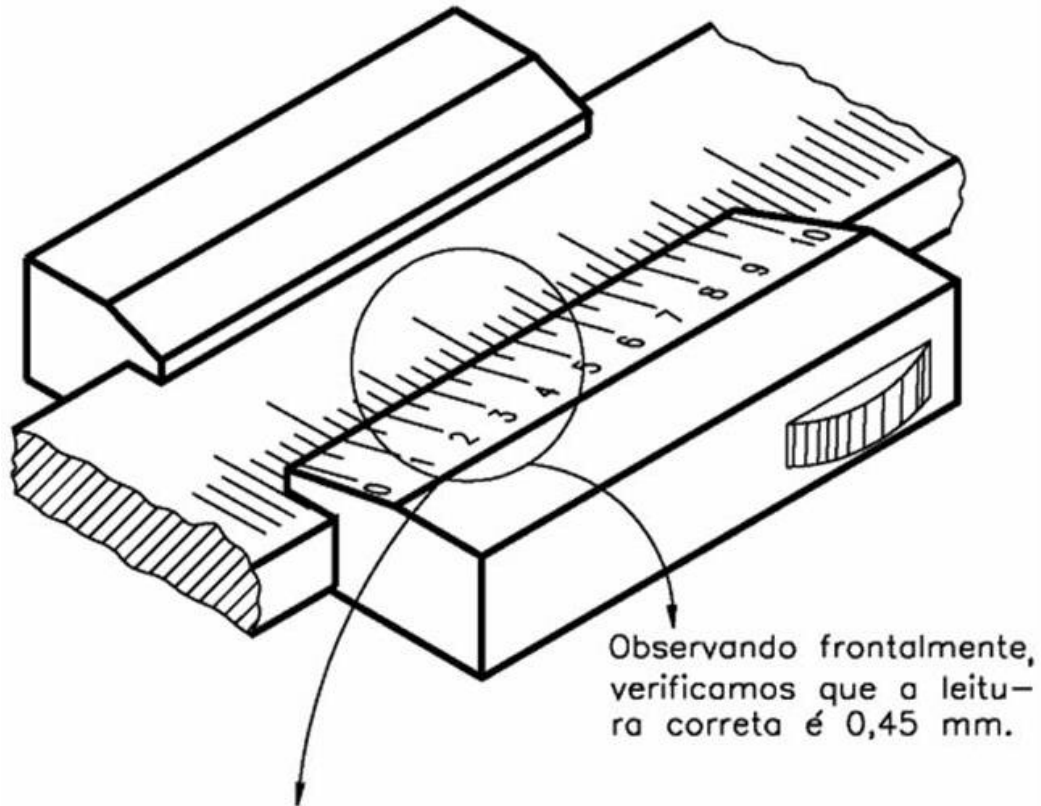




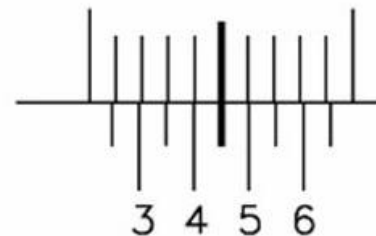
Paquímetro

Correta utilização (alguns cuidados)

Erros de leitura:



Devido a posição inclinada, o observador poderá achar que a medida correta é 0,4 mm.



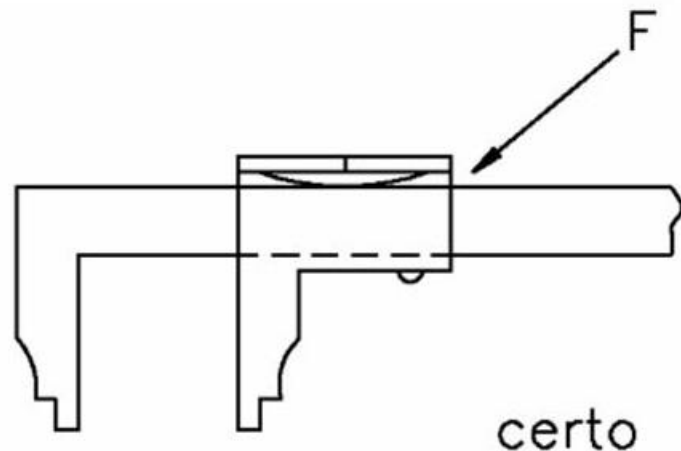
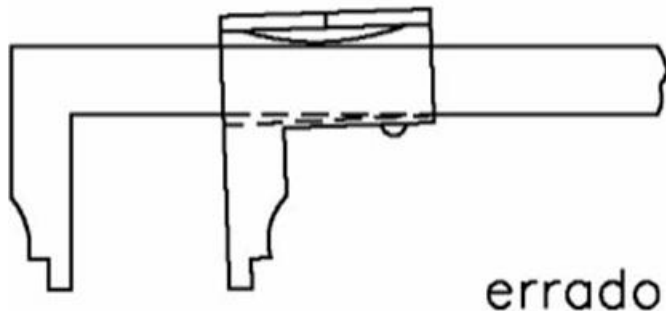


Paquímetro

Correta utilização (alguns cuidados)

Erros de leitura:

- Pressão de Medição: Já o erro de pressão de medição origina-se no jogo do cursor, controlado por uma mola. Pode ocorrer uma inclinação do cursor em relação à régua, o que altera a medida.
- Para se deslocar com facilidade sobre a régua, o cursor deve estar bem regulado: nem muito preso, nem muito solto.

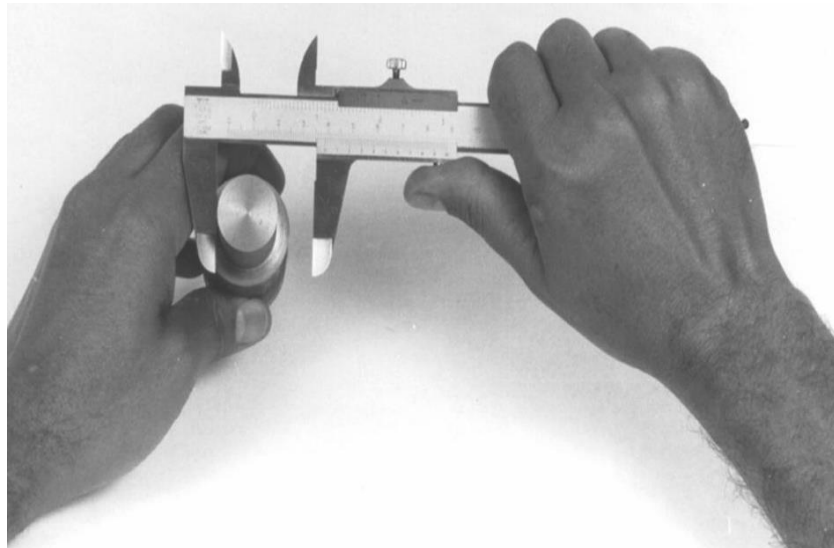




Paquímetro

Técnica de utilização

- Para ser usado corretamente, o paquímetro precisa ter:
 - Seus encostos limpos;
 - a peça a ser medida deve estar posicionada corretamente entre os encostos.
- É importante abrir o paquímetro com uma distância maior que a dimensão do objeto a ser medido.
- O centro do encosto fixo deve ser encostado em uma das extremidades da peça..

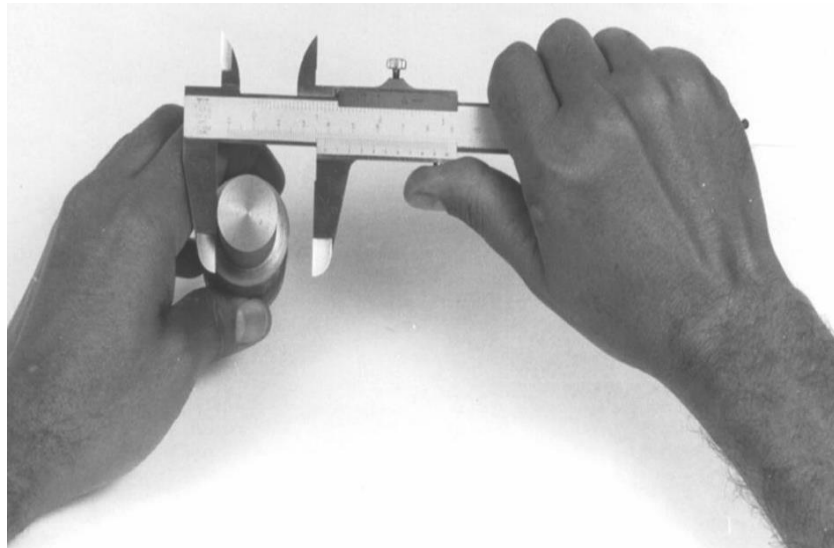




Paquímetro

Técnica de utilização

- Convém que o paquímetro seja fechado suavemente até que o encosto móvel toque a outra extremidade.
- Feita a leitura da medida, o paquímetro deve ser aberto e a peça retirada, sem que os encostos a toquem.

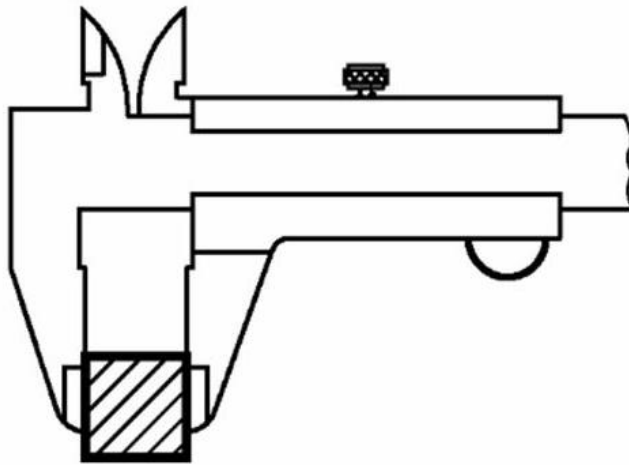




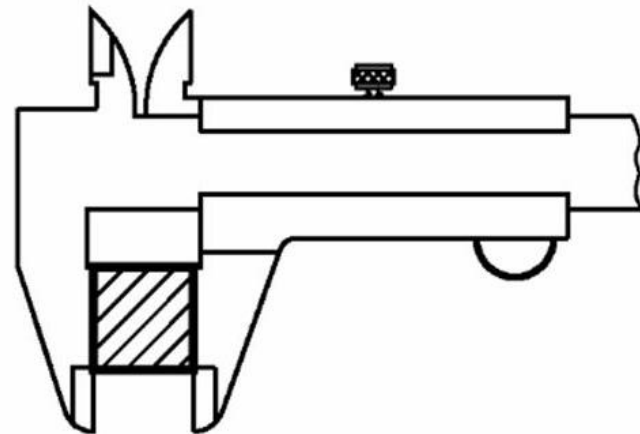
Paquímetro

Técnica de utilização

- Nas medidas externas, a peça a ser medida deve ser colocada o mais profundamente possível entre os bicos de medição para evitar qualquer desgaste na ponta dos bicos.



errado



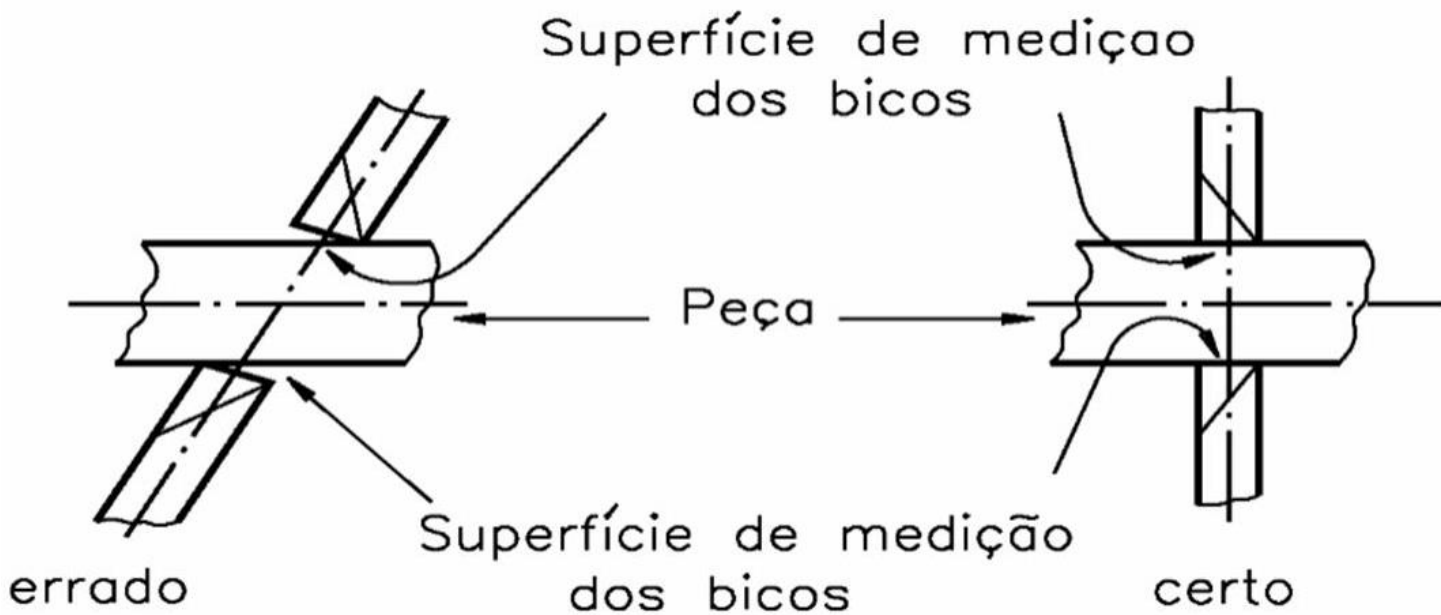
certo



Paquímetro

Técnica de utilização

- Para maior segurança nas medições, as superfícies de medição dos bicos e da peça devem estar bem apoiadas.

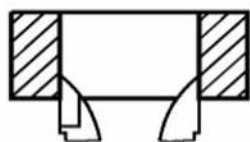




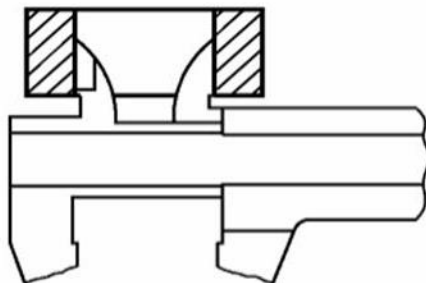
Paquímetro

Técnica de utilização

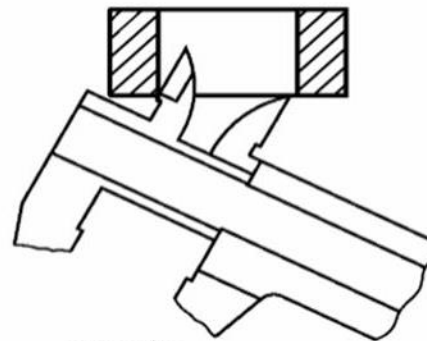
- Nas medidas internas, as orelhas precisam ser colocadas o mais profundamente possível. O paquímetro deve estar sempre paralelo à peça que está sendo medida.



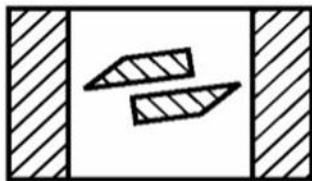
errado



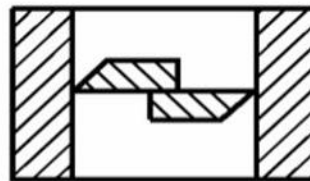
certo



errado



errado



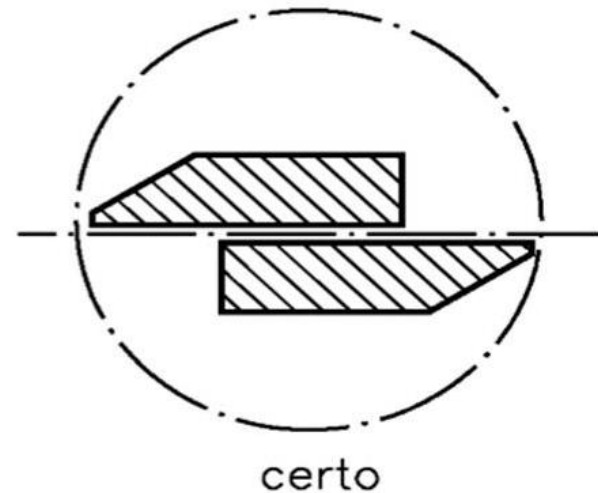
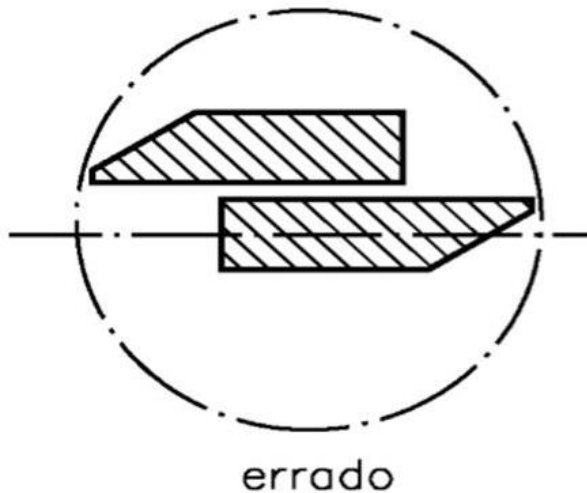
certo



Paquímetro

Técnica de utilização

- Para maior segurança nas medições de diâmetros internos, as superfícies de medição das orelhas devem coincidir com a linha de centro do furo.

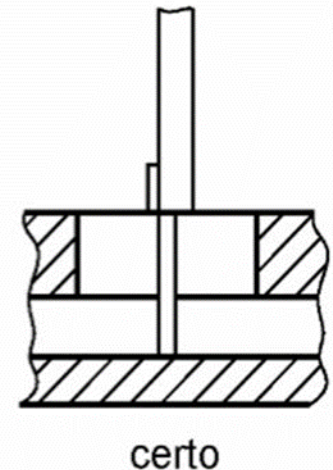
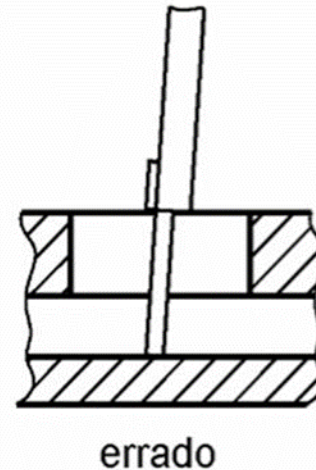
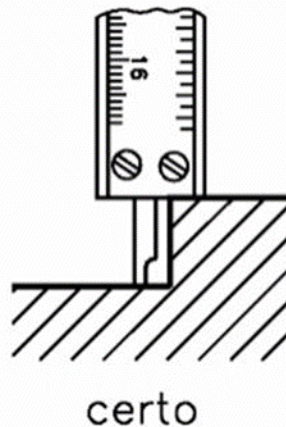
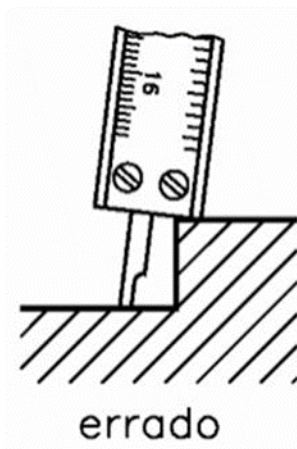




Paquímetro

Técnica de utilização

- No caso de medidas de profundidade, apoia-se o paquímetro corretamente sobre a peça, evitando que ele fique inclinado.

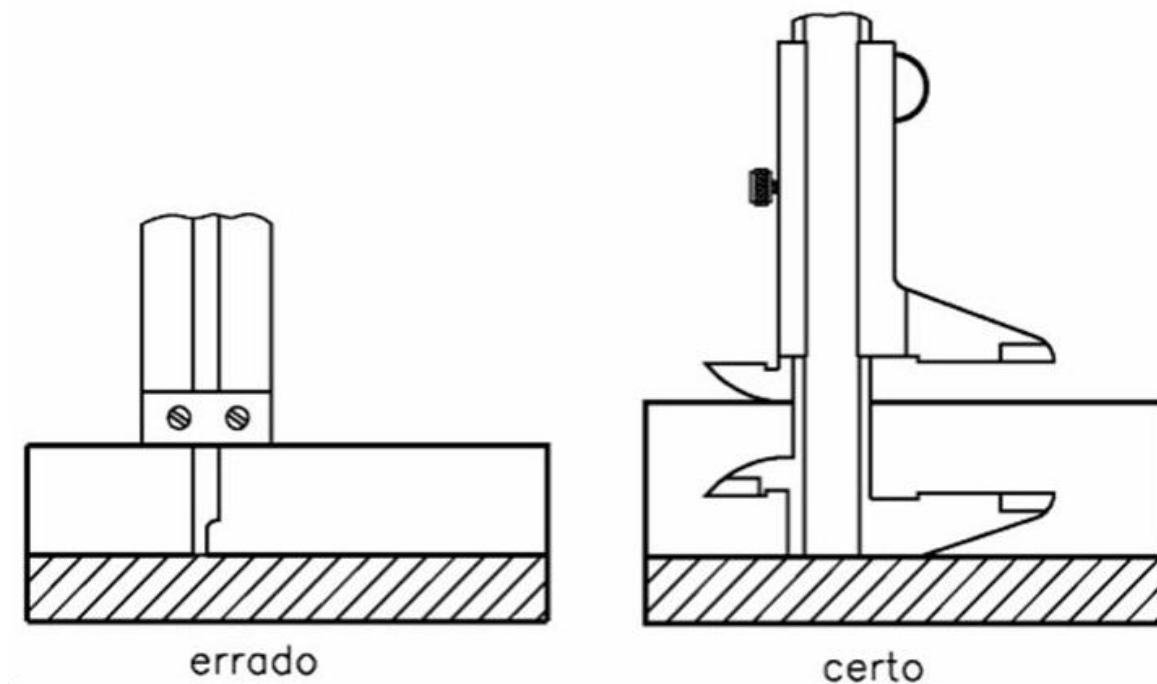




Paquímetro

Técnica de utilização

- Nas medidas de ressalto, coloca-se a parte do paquímetro apropriada para ressaltos perpendicularmente à superfície de referência da peça.
- Não se deve usar a haste de profundidade para esse tipo de medição, porque ela não permite um apoio firme.





Paquímetro

Conservação

- Manejar o paquímetro sempre com todo cuidado, evitando choques.
- Não deixar o paquímetro em contato com outras ferramentas, o que pode lhe causar danos.
- Evitar arranhaduras ou entalhes, pois isso prejudica a graduação.
- Ao realizar a medição, não pressionar o cursor além do necessário.
- Limpar e guardar o paquímetro em local apropriado, após sua utilização.

EPRI14 – Metrologia

04

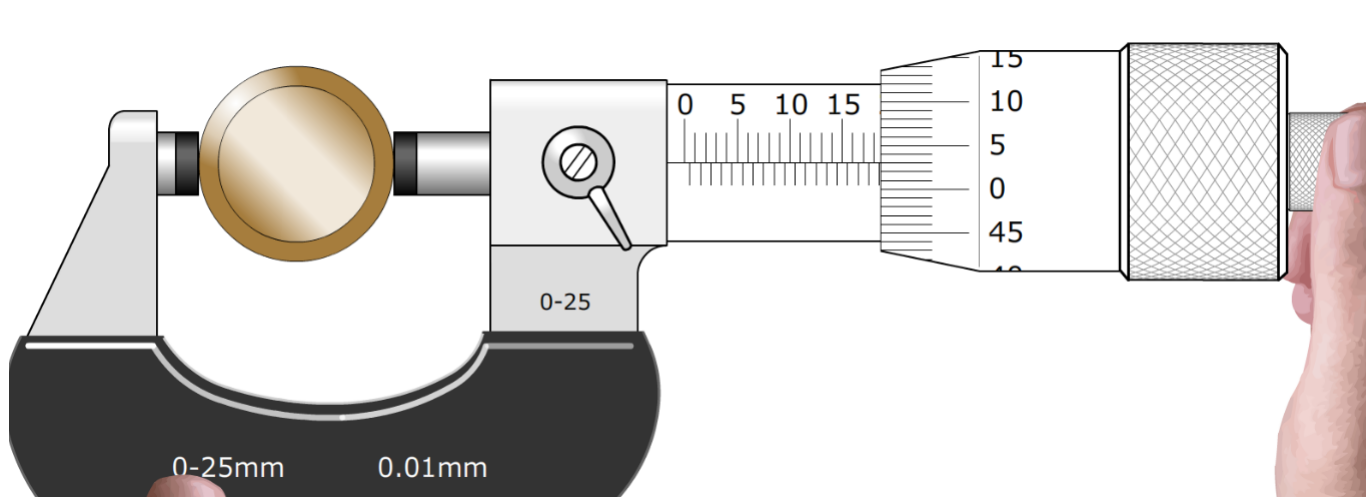
Micrômetro





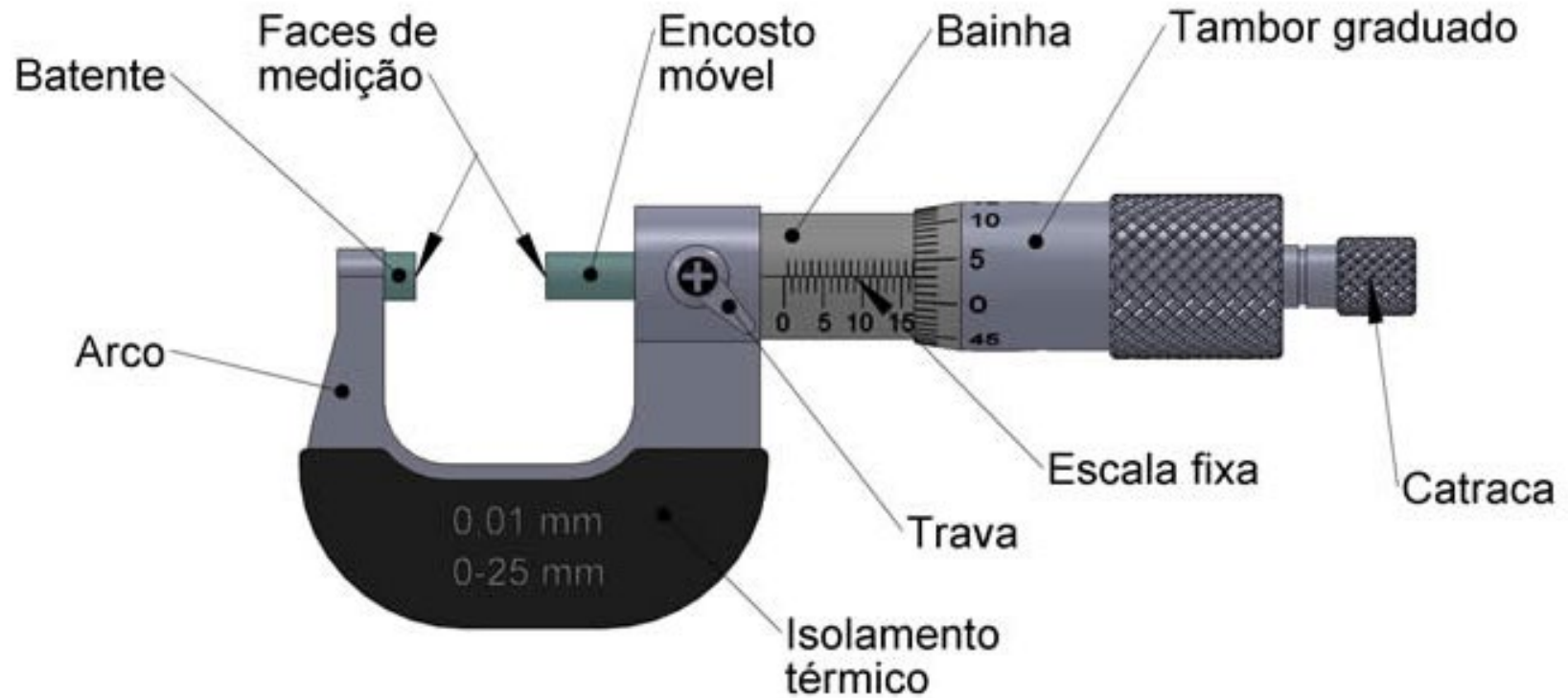
Micrômetro

- **Micrômetro:** é um instrumento metrológico capaz de aferir as dimensões lineares de um objeto (tais como espessura, altura, largura, profundidade, diâmetro etc.) com precisão da ordem de micrometros, que são a milionésima parte do metro.





Micrômetro: Componentes





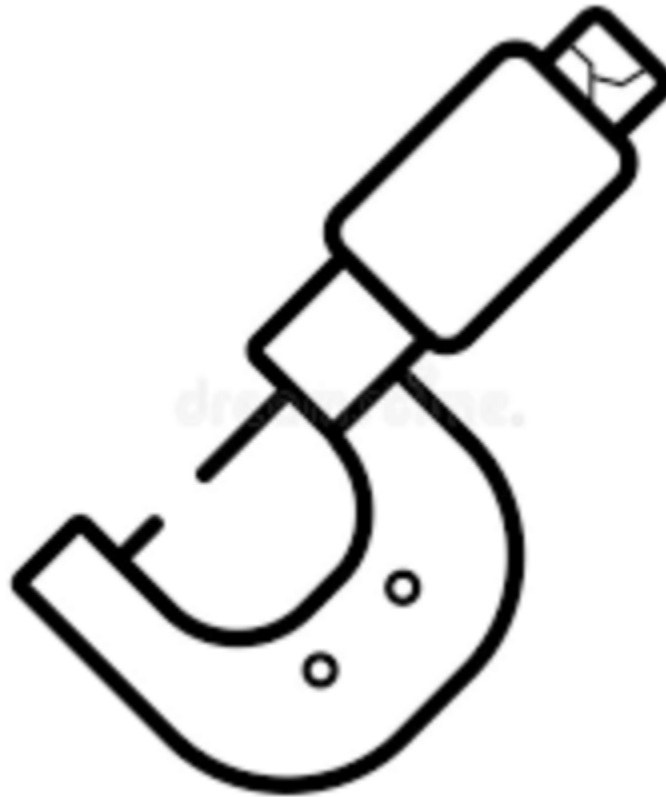
Micrômetro: Descrição dos componentes

- **Arco:** é constituído de aço especial ou fundido, tratado termicamente para eliminar as tensões internas.
- **Isolante Térmico:** fixado ao arco, evita sua dilatação porque isola a transmissão de calor das mãos para o instrumento.
- **Fuso micrométrico:** é construído de aço especial temperado e retificado para garantir exatidão do passo da rosca.
- **Faces de medição:** tocam a peça a ser medida e, para isso, apresentam-se rigorosamente planos e paralelos. Em alguns instrumentos, os contatos são de metal duro, de alta resistência ao desgaste.
- **Porca de ajuste:** permite o ajuste da folga do fuso micrométrico, quando isso é necessário.
- **Tambor:** é onde se localiza a escala centesimal. Ele gira ligado ao fuso micrométrico. Portanto, a cada volta, seu deslocamento é igual ao passo do fuso micrométrico.



Micrômetro: Descrição dos componentes

- **Catraca ou Fricção:** assegura uma pressão de medição constante.
- **Trava:** permite imobilizar o fuso numa medida determinada





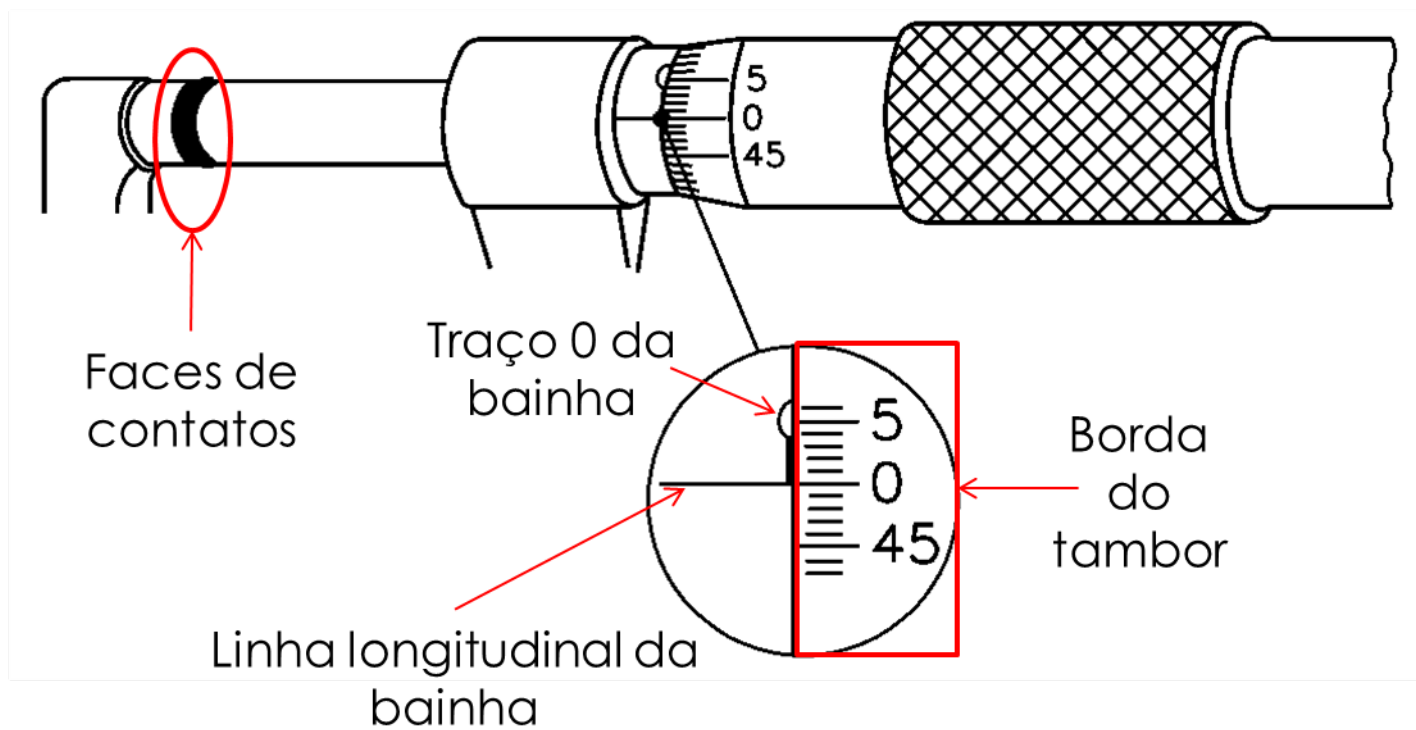
Micrômetro : Características

- Os micrômetros caracterizam-se pela:
- Capacidade;
- Resolução;
- Aplicação
- **Capacidade:** A capacidade de medição dos micrômetros normalmente é de 25 mm (ou 1"), variando o tamanho do arco de 25 em 25 mm (ou 1 em 1"). Podem chegar a 2000 mm (ou 80").
- **Resolução:** A resolução nos micrômetros pode ser 0,01 mm; 0,001mm; 0.001" ou 0.0001"



Micrômetro : Características

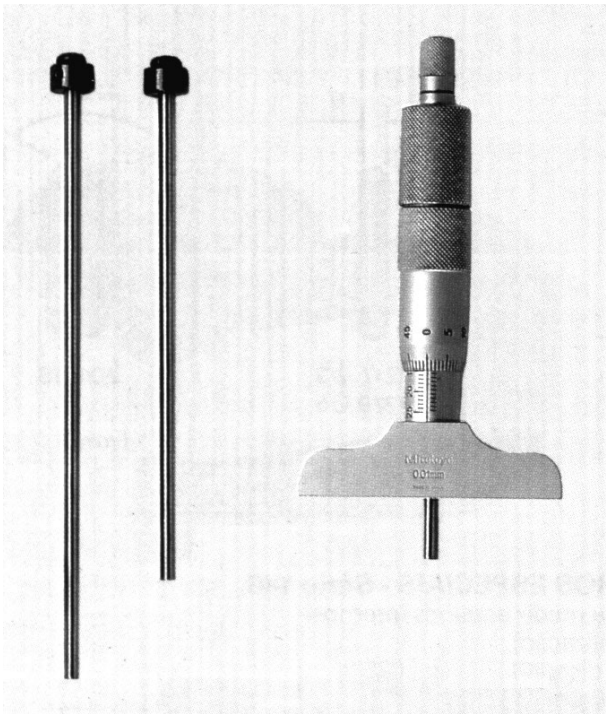
- No micrômetro de 0 a 25 mm ou de 0 a 1", quando as faces dos contatos estão juntas, a borda do tambor coincide com o traço zero (0) da bainha. A linha longitudinal, gravada na bainha, coincide com o zero (0) da escala do tambor.





Micrômetro : Tipos

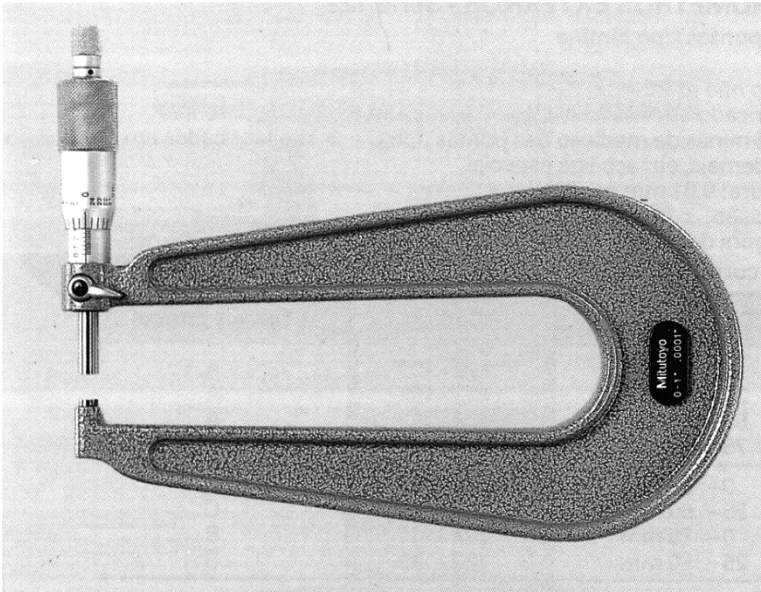
- **De profundidade**: Conforme a profundidade a ser medida, utilizam-se hastes de extensão, que são fornecidas juntamente com o micrômetro.





Micrômetro : Tipos

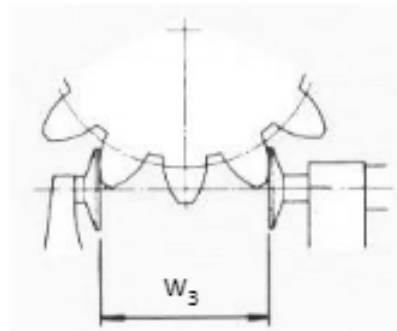
- **Com arco profundo**: Serve para medições de espessuras de bordas ou de partes salientes das peças.





Micrômetro : Tipos

- **Com disco nas hastes**: O disco aumenta a área de contato possibilitando a medição de papel, cartolina, couro, borracha, pano etc. Também é empregado para medir dentes de engrenagens.



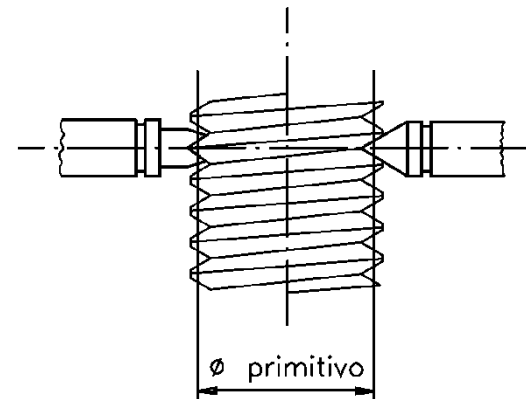
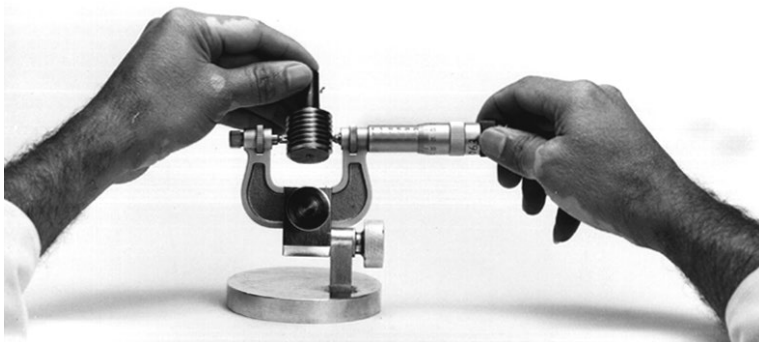
W = valor de wildhaber (inventor do método)





Micrômetro : Tipos

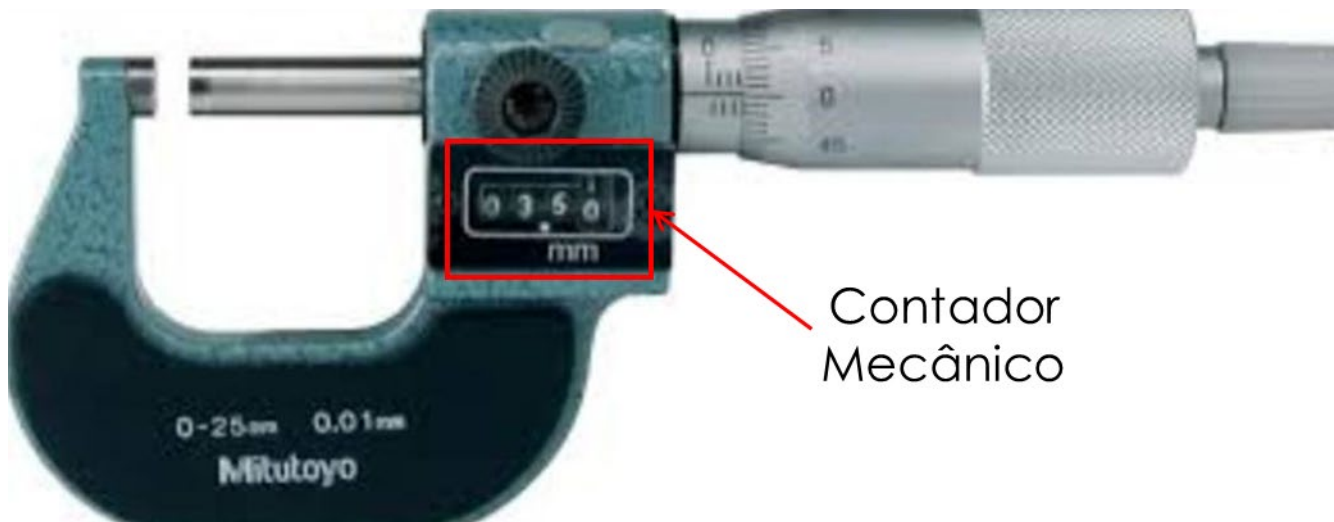
- **Para medição de roscas:** Especialmente construído para medir roscas triangulares, este micrômetro possui as hastes furadas para que se possa encaixar as pontas intercambiáveis, conforme o passo para o tipo da rosca a medir.





Micrômetro : Tipos

- **Contador mecânico** : É para uso comum, porém sua leitura pode ser efetuada no tambor ou no contador mecânico. Facilita a leitura independentemente da posição de observação (erro de paralaxe).



Contador
Mecânico



Micrômetro : Tipos

- **Digital eletrônico**: Ideal para leitura rápida, livre de erros de paralaxe, próprio para uso em controle estatístico de processos, juntamente com microprocessadores.





Micrômetro : Princípio de funcionamento

Micrômetros: Princípio de funcionamento



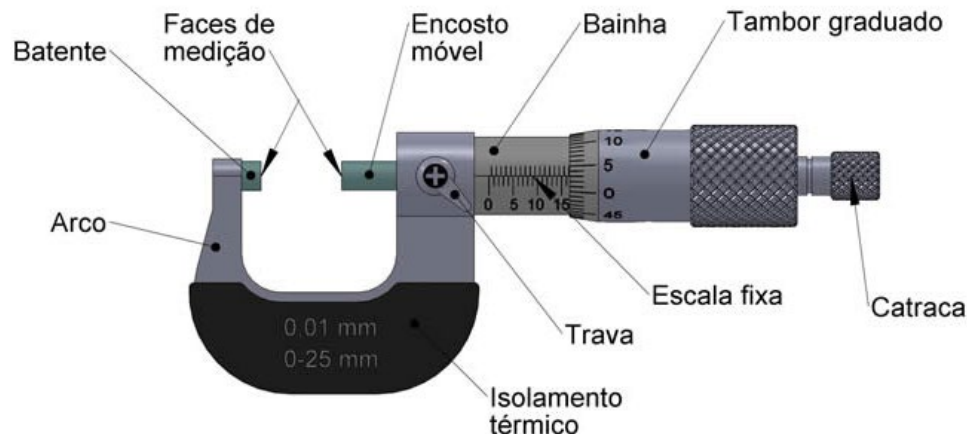
Micrômetro : Sistema métrico – resolução de 0,01 mm

- Vejamos como se faz o cálculo de leitura em um micrômetro. A cada volta do tambor, o fuso micrométrico avança uma distância chamada passo.
- A resolução de uma medida tomada em um micrômetro corresponde ao menor deslocamento do seu fuso. Para obter a medida, divide-se o passo pelo número de divisões do tambor.

$$\text{Resolução} = \frac{\text{Passo da rosca do fuso micrométrico}}{\text{número de divisões do tambor}}$$

- Se o passo da rosca é de 0,5mm e o tambor tem 50 divisões, a resolução será:

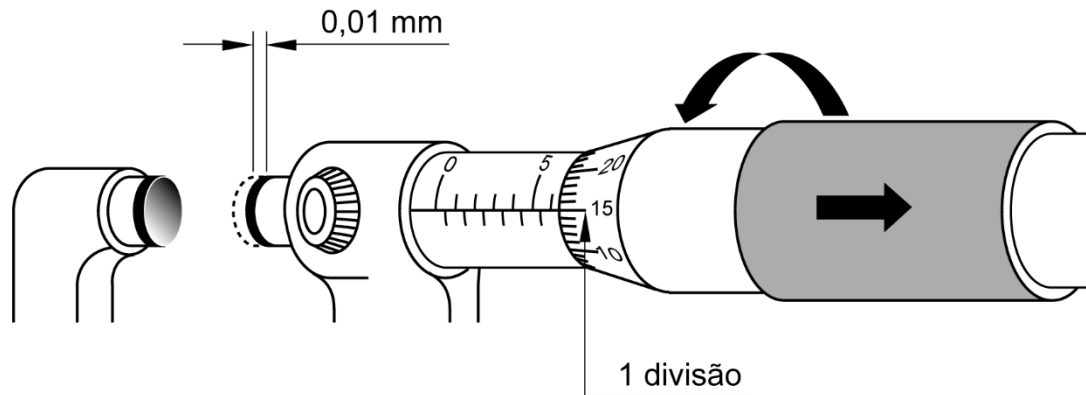
$$\text{Resolução} = \frac{0,5 \text{ mm}}{50} = 0,01 \text{ mm}$$





Micrômetro : Sistema métrico – resolução de 0,01 mm

- Assim, girando o tambor, cada divisão provocará um deslocamento de 0,01mm no fuso.





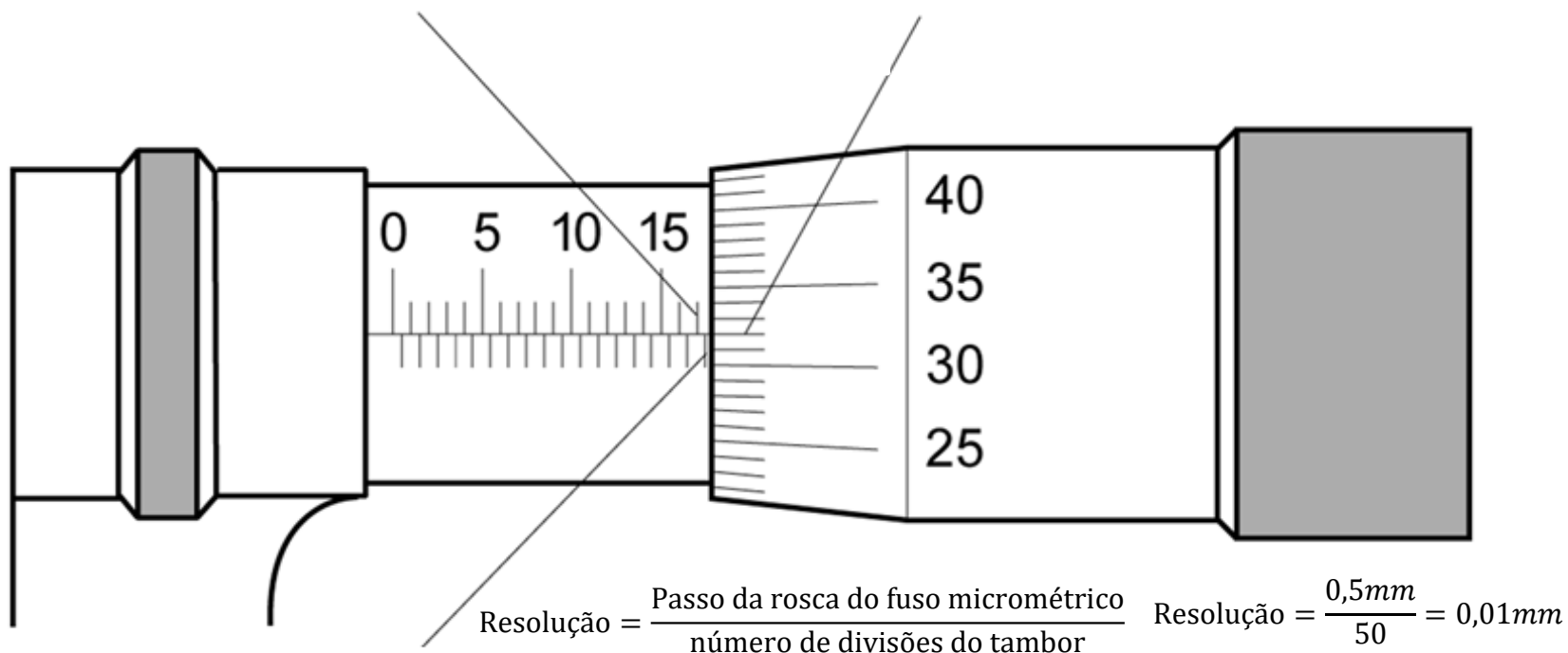
Micrômetro : Sistema métrico – resolução de 0,01 mm (Leitura)

1. Passo: leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha;
2. Passo: leitura dos meios milímetros, também na escala da bainha;
3. Passo: leitura dos centésimos de milímetro na escala do tambor.





Micrômetro : Sistema métrico – resolução de 0,01 mm (Leitura)

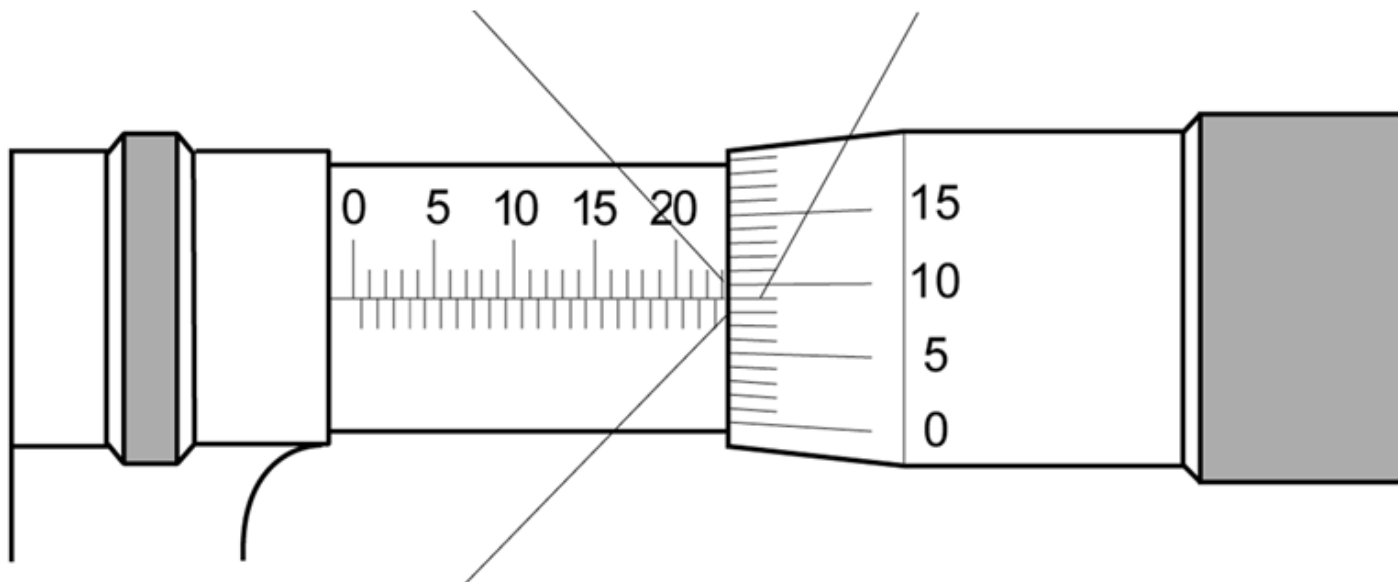


1. Passo: leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha. **Leitura = 17,00 mm**
2. Passo: leitura dos meios milímetros, também na escala da bainha. **Leitura = 0,50 mm**
3. Passo: leitura dos centésimos de milímetro na escala do tambor. **Leitura = 0,32 mm**

Leitura Total = 17,00 + 0,50 + 0,32 = 17,82 mm



Micrômetro : Sistema métrico – resolução de 0,01 mm (Leitura)



$$\text{Resolução} = \frac{\text{Passo da rosca do fuso micrométrico}}{\text{número de divisões do tambor}}$$

$$\text{Resolução} = \frac{0,5\text{mm}}{50} = 0,01\text{mm}$$

1. Passo: leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha. **Leitura = 23,00 mm**
2. Passo: leitura dos meios milímetros, também na escala da bainha. **Leitura = 0,00 mm**
3. Passo: leitura dos centésimos de milímetro na escala do tambor. **Leitura = 0,09 mm**

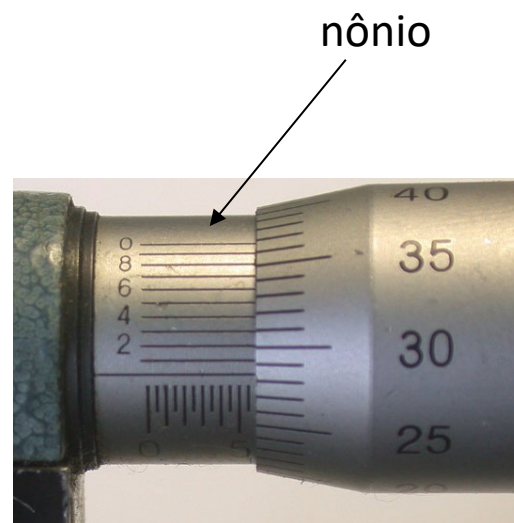
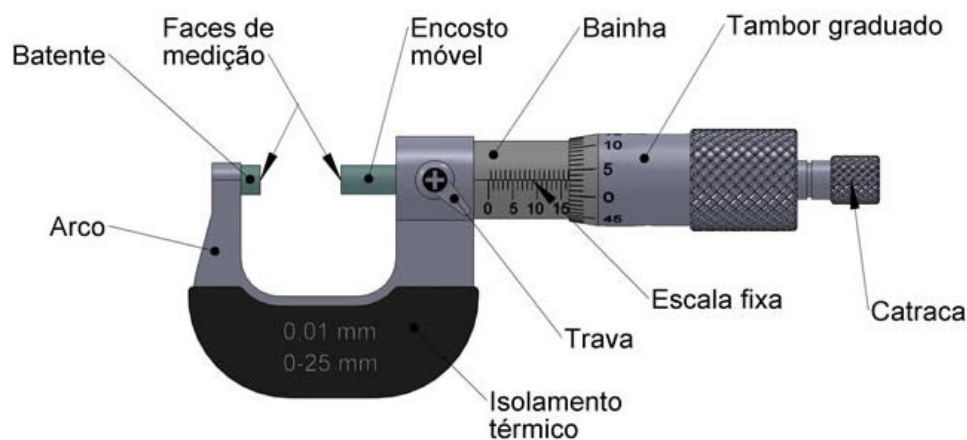
$$\text{Leitura Total} = 23,00 + 0,00 + 0,09 = 23,09 \text{ mm}$$



Micrômetro : Sistema métrico – resolução de 0,001 mm (Leitura)

- Quando no micrômetro houver nônio, ele indica o valor a ser acrescentado à leitura obtida na bainha e no tambor. A medida indicada pelo nônio é igual à leitura do tambor, dividida pelo número de divisões do nônio.
- Se o nônio tiver dez divisões marcadas na bainha, sua resolução será:

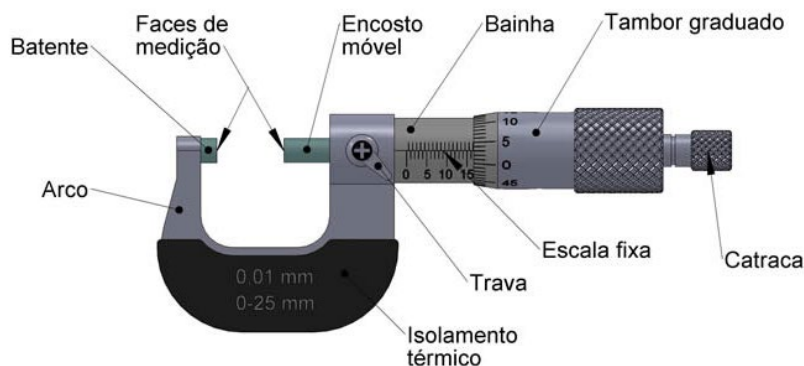
$$\text{Resolução} = \frac{0,01 \text{ mm}}{10} = 0,001 \text{ mm}$$





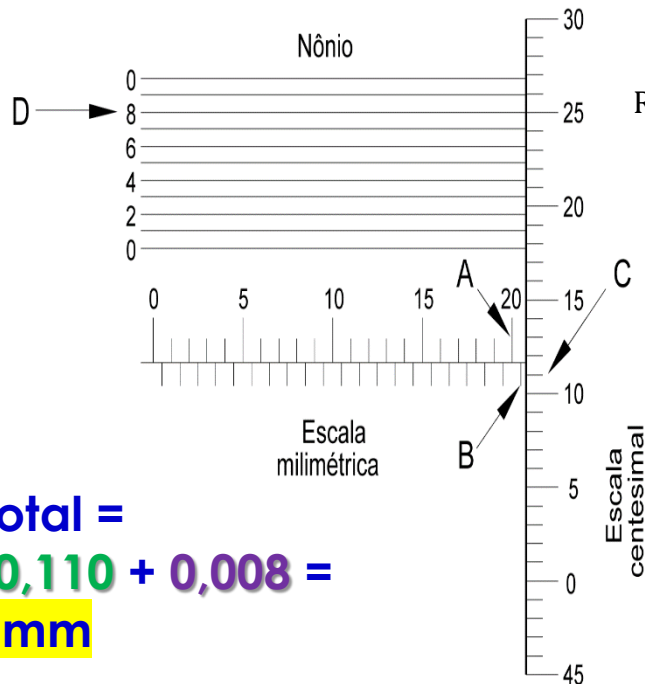
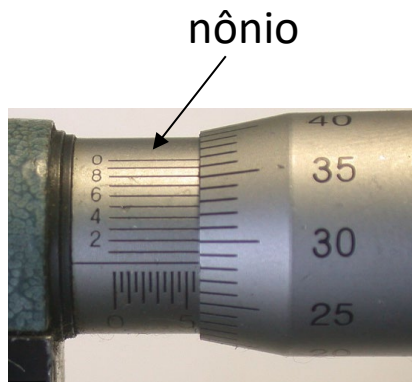
Micrômetro : Sistema métrico – resolução de 0,001 mm (Leitura)

1. Passo: leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha;
2. Passo: leitura dos meios milímetros, também na escala da bainha;
3. Passo: leitura dos centésimos de milímetro na escala do tambor
4. Passo: leitura dos milésimos com o auxílio do nônio da bainha, verificando qual dos traços do nônio coincide com o traço do tambor.



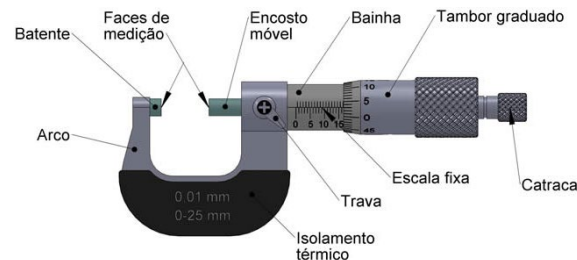


Micrômetro : Sistema métrico – resolução de 0,001 mm (Leitura)



$$\text{Resolução} = \frac{\text{Passo da rosca do fuso micrométrico}}{\text{número de divisões do tambor}}$$

$$\text{Resolução} = \frac{0,5\text{mm}}{50} = 0,01\text{mm}$$



Leitura Total =

$$20,000 + 0,500 + 0,110 + 0,008 = 20,618 \text{ mm}$$

Letra A. leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha. **Leitura = 20,000 mm**

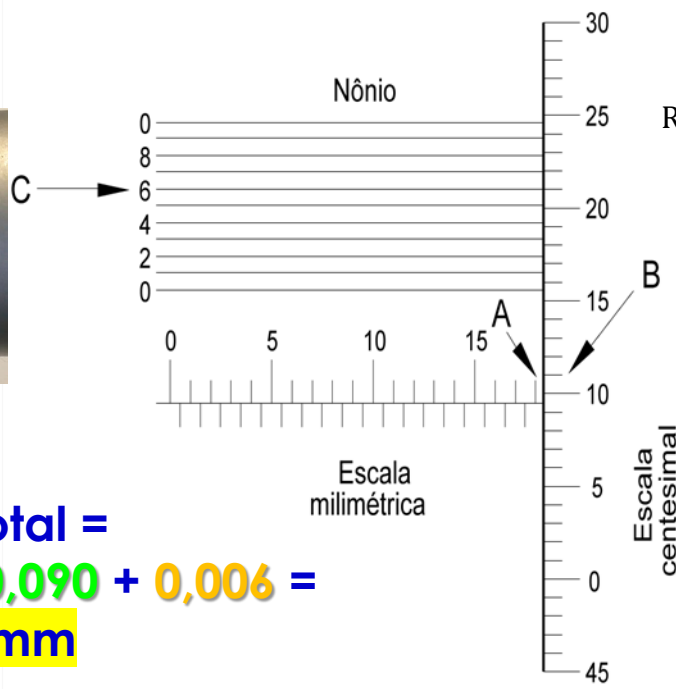
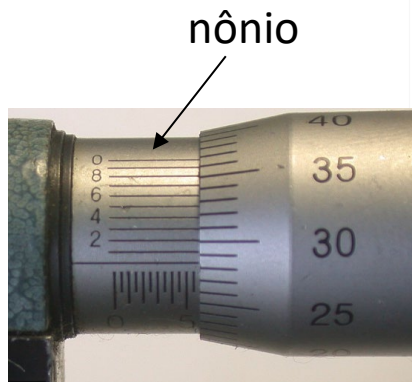
Letra B. leitura dos meios milímetros, também na escala da bainha. **Leitura = 0,500 mm**

Letra C. leitura dos centésimos de milímetro na escala do tambor. **Leitura = 0,110 mm**

Letra D. leitura dos milésimos com o auxílio do nônio da bainha, verificando qual dos traços do nônio coincide com o traço do tambor. **Leitura = 0,008 mm**

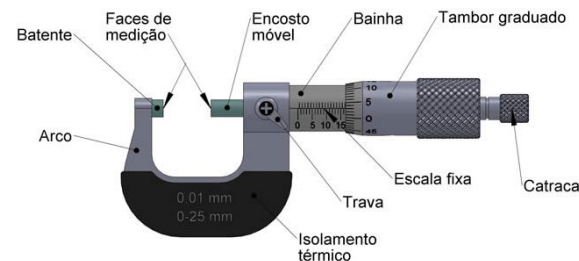


Micrômetro : Sistema métrico – resolução de 0,001 mm (Leitura)



$$\text{Resolução} = \frac{\text{Passo da rosca do fuso micrométrico}}{\text{número de divisões do tambor}}$$

$$\text{Resolução} = \frac{0,5\text{mm}}{50} = 0,01\text{mm}$$



Leitura Total =
18,000 + 0,000 + 0,090 + 0,006 =
18,096 mm

Letra A. leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha. **Leitura = 18,000 mm**

Sem Letra. leitura dos meios milímetros, também na escala da bainha. **Leitura = 0,000 mm**

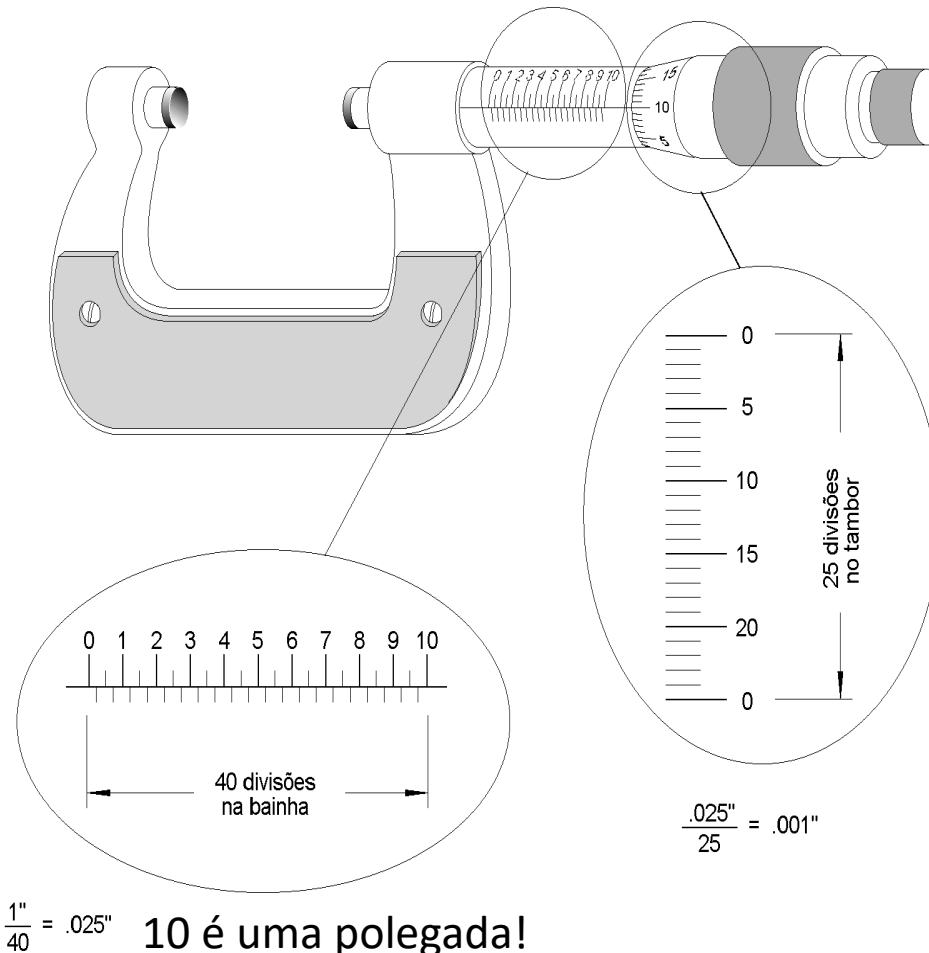
Letra B. leitura dos centésimos de milímetro na escala do tambor. **Leitura = 0,090 mm**

Letra C. leitura dos milésimos com o auxílio do nônio da bainha, verificando qual dos traços do nônio coincide com o traço do tambor. **Leitura = 0,006 mm**



Micrômetro : Sistema inglês (Leitura)

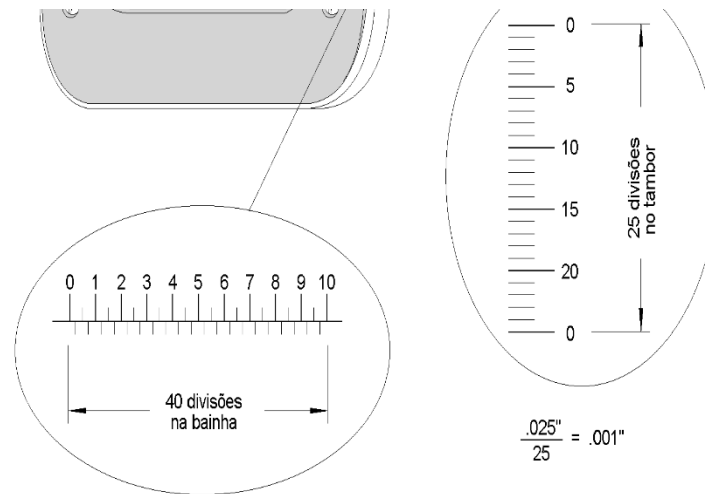
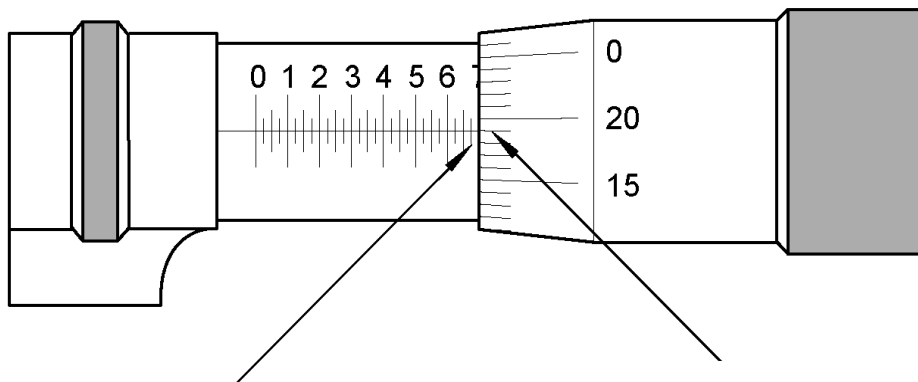
- No sistema inglês, o micrômetro apresenta as seguintes características:





Micrômetro : Sistema inglês (Leitura)

- Para medir com o micrômetro de resolução $.001''$, lê-se primeiro a indicação da bainha. Depois, soma-se essa medida ao ponto de leitura do tambor que coincide com o traço de referência da bainha.



$$\frac{1''}{40} = .025'' \quad 10 \text{ é uma polegada!}$$

$$\frac{.025''}{25} = .001''$$

- leitura na escala da bainha. **Leitura = $(6 \times 4 \text{ divisões} + 3 \text{ divisões}) \times 0.025'' = 0.675''$**
- leitura na escala do tambor. **Leitura = $19 \times 0.001 = 0.019''$**

$$\text{Leitura Total} = 0.675 + 0.019 = 0.694''$$



Micrômetro : Sistema inglês - resolução 0.0001" (Leitura)

- Para a leitura no micrômetro de .0001", além das graduações normais que existem na bainha (25 divisões), há um nônio com dez divisões. O tambor divide-se, então, em 250 partes iguais.
- A leitura do micrômetro é:

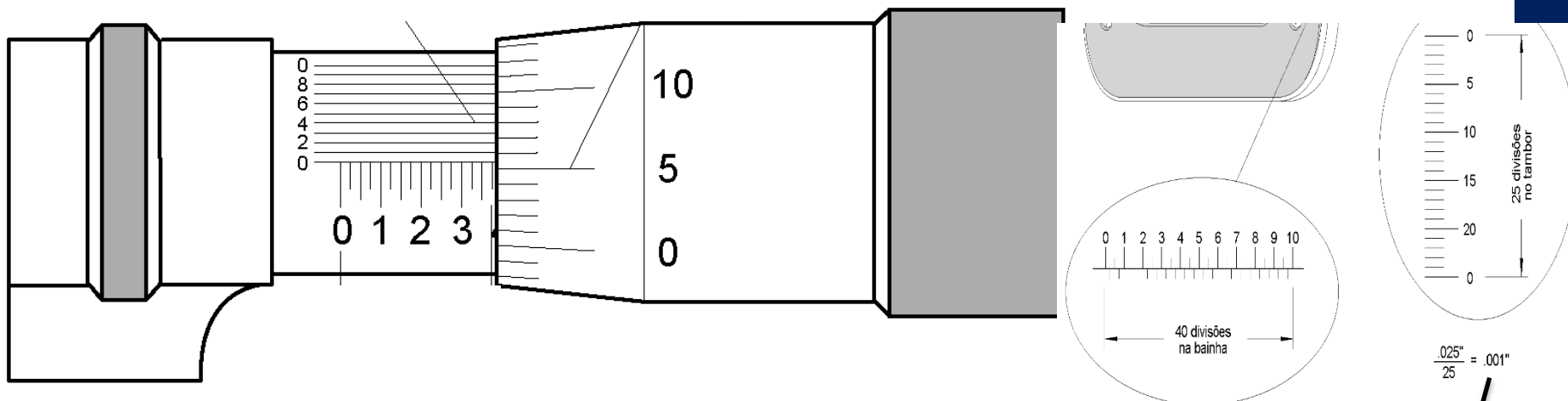
$$\text{Sem o nônio} \rightarrow \text{Resolução} = \frac{\text{Passo da rosca}}{\text{N}^{\circ} \text{ de divisões do tambor}} = \frac{0.025''}{25} = 0.001''$$

$$\text{Com o nônio} \rightarrow \text{Resolução} = \frac{\text{Resolução do Tambor}}{\text{N}^{\circ} \text{ de divisões do nônio}} = \frac{0.001''}{10} = 0.0001''$$



Micrômetro : Sistema inglês - resolução 0.0001" (Leitura)

- Para medir, basta adicionar as leituras da bainha, do tambor e do nônio.



1. leitura na escala da bainha. **Leitura = 15 x 0.025" = 0.3750"**

2. leitura na escala do tambor. **Leitura = 5 x 0.001 = 0.0050"**

$$\text{Com nônio: Resolução} = \frac{\text{Resolução do Tambor}}{\text{Nº de divisões do nônio}} = \frac{0.001''}{10} = 0.0001''$$

3. Leitura na escala do nônio: **Leitura = 4 x 0.0001 = 0.0004"**

Leitura Total = 0.3750+0.0050+0.0004 = 0.3804"



Micrômetro : Calibração

- Antes de iniciar a medição de uma peça, devemos calibrar o instrumento de acordo com a sua capacidade.
- Para os micrômetros cuja capacidade é de 0 a 25 mm, ou de 0 a 1", precisamos tomar os seguintes cuidados:
- Limpe cuidadosamente as partes móveis eliminando poeiras e sujeiras, com pano macio e limpo.
- Antes do uso, limpe as faces de medição; use somente uma folha de papel macio;
- Encoste suavemente as faces de medição usando apenas a catraca; em seguida, verifique a coincidência das linhas de referência da bainha com o zero do tambor; se estas não coincidirem, faça o ajuste movimentando a bainha com a chave de micrômetro, que normalmente acompanha o instrumento.



Micrômetro : Calibração

- Para calibrar micrômetros de maior capacidade, ou seja, de 25 a 50 mm, de 50 a 75 mm etc. ou de 1" a 2", de 2" a 3" etc., deve-se ter o mesmo cuidado e utilizar os mesmos procedimentos para os micrômetros citados anteriormente, porém com a utilização de barra-padrão para calibração.

Micrômetro : Conservação

- Limpar o micrômetro, secando-o com um pano limpo e macio (flanela).
- Juntar o micrômetro com vaselina líquida, utilizando um pincel.
- Guardar o micrômetro em armário ou estojo apropriado, para não deixá-lo exposto à sujeira e à umidade.
- Evitar contatos e quedas que possam riscar ou danificar o micrômetro e sua escala.

EPRI14 – Metrologia

05

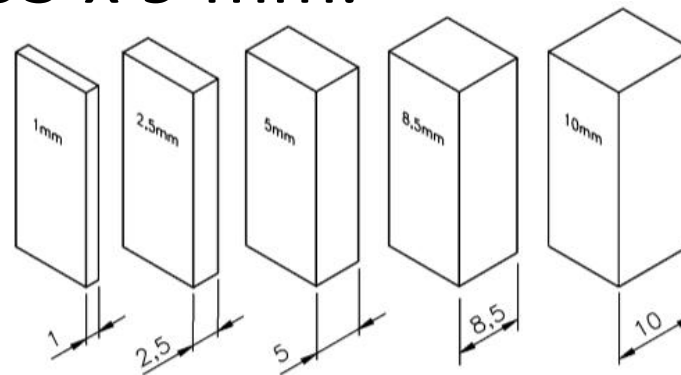
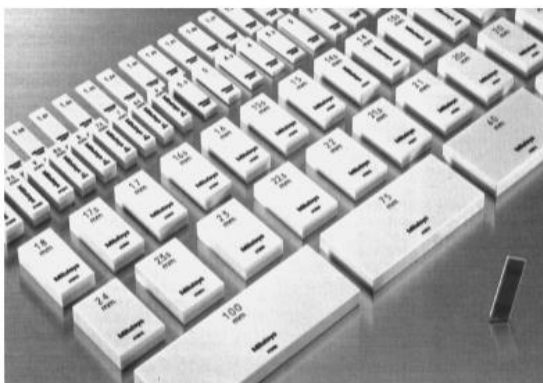
Bloco Padrão





Bloco Padrão

- Ele é o padrão de referência:
 - Para realizar qualquer medida;
 - Padrões adotados ao longo do tempo: pé, braço, metro, etc.;
 - 1898 – patente dos blocos-padrão (Johansson).
 - Peças em forma de pequenos paralelepípedos . Padronizados nas dimensões 30 ou 35 x 9 mm.





Bloco-padrão protetor

- Bloco-padrão: dimensões extremamente exatas .
- Uso constante pode interferir na exatidão .
- Blocos protetores: mais resistentes (material de maior dureza).
- Impedir que os blocos-padrão entrem em contato direto com instrumentos ou ferramentas.
- Geralmente são fornecidos em jogos de dois blocos, e suas espessuras normalmente são de 1, 2 ou 2,5 mm, podendo variar em situações especiais.



Jogo de bloco-padrão

- Exemplo com 114 peças:
 - 2 blocos-padrão protetores de 2,00 mm de espessura.
 - 1 bloco-padrão de 1,0005 mm;
 - 9 blocos-padrão de 1,001; 1,002; 1,003 1,009 mm;
 - 49 blocos-padrão de 1,01; 1,02; 1,03 1,49 mm;
 - 49 blocos-padrão de 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 24,5 mm;
 - 4 blocos-padrão de 25; 50; 75 e 100 mm.



Classificação

DIN./ISO/JIS	BS	FS	APLICAÇÃO
00	00	1	Para aplicação científica ou calibração de blocos-padrão.
0	0	2	Calibração de blocos-padrão destinados a operação de inspeção, e calibração de instrumentos.
1	1	3	Para inspeção e ajuste de instrumentos de medição nas áreas de inspeção.
2	2	B	Para uso em oficinas e ferramentas.

Normas:

DIN. 861

ISO 3650

JIS B-7506

BS(British Standard) 4311

FS. (Federal Standard) GCG-G-15C



Erros admissíveis

Dimensão (mm)	Exatidão a 20°C (µm)			
	Classe 00	Classe 0	Classe 1	Classe 2
até 10	±0.06	±0.12	±0.20	±0.45
10 - 25	±0,07	±0.14	±0.30	±0.60
25 - 50	±0.10	±0.20	±0.40	±0.80
50 - 75	±0.12	±0.25	±0.50	±1.00
75 - 100	±0.14	±0.30	±0.60	±1.20
100 - 150	±0.20	±0.40	±0.80	±1.60
150 - 200	±0.25	±0.50	±1.00	±2.00
200 - 250	±0.30	±0.60	±1.20	±2.40
250 - 300	±0.35	±0.70	±1.40	±2.80
300 - 400	±0.45	±0.90	±1.80	±3.60
400 - 500	±0.50	±1.10	±2.20	±4.40
500 - 600	±0.60	±1.30	±2.60	±5.00
600 - 700	±0.70	±1.50	±3.00	±6.00
700 - 800	±0.80	±1.70	±3.40	±6.50
800 - 900	±0.90	±1.90	±3.80	±7.50
900 - 1000	±1.00	±2.00	±4.20	±8.00

DIN./ISO/JIS



Materiais

- **Aço**: atualmente é o mais utilizado nas indústrias. O aço é tratado termicamente para garantir a estabilidade dimensional, além de assegurar dureza acima de 800 HV.
- **Metal duro**: são blocos geralmente fabricados em carbureto de tungstênio. Hoje, este tipo de bloco-padrão é mais utilizado como bloco protetor. A dureza deste tipo de bloco padrão situa-se acima de 1.500 HV.



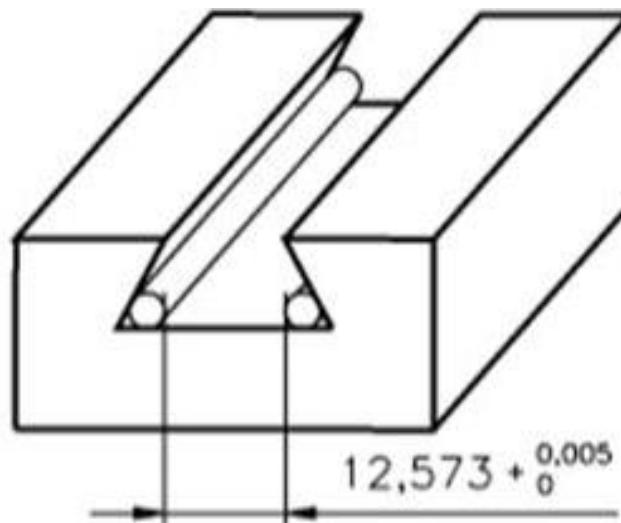
Materiais

- **Cerâmica:** o material básico utilizado é o zircônio. A utilização deste material ainda é recente, e suas principais vantagens são a excepcional estabilidade dimensional e a resistência à corrosão. A dureza obtida nos blocos- padrão de cerâmica situa-se acima de 1400 HV



Exemplo de aplicação

- Verificar um rasgo em forma de rabo de andorinha com roletes, no valor de $12,573 + 0,005$.



- Solução

Deve-se fazer duas montagens:

Uma na dimensão mínima de 12,573 mm

Outra na dimensão máxima de 12,578mm



Exemplo de aplicação

- Fazer a combinação por blocos de forma regressiva procurando utilizar o menor número de blocos possíveis. A técnica consiste em eliminar as últimas casas decimais, subtraindo da dimensão a medida dos blocos existentes no jogo.

DIMENSÃO MÁXIMA DE 12,578 mm

DIM	12,578 mm
BLOCO	-4,000 mm (2 bloco protetores)

DIM	8,578 mm
BLOCO	-1,008 mm (1 bloco do jogo)

DIM	7,570 mm
BLOCO	-1,070 mm (1 bloco do jogo)

DIM	6,500 mm
BLOCO	-6,500 mm (1 bloco do jogo)

DIM	0,000 mm (total 5 blocos)
-----	------------------------------------



Exemplo de aplicação

DIMENSÃO MINIMA DE 12,573 mm

DIM	12,573 mm
BLOCO	-4,000 mm (2 bloco protetores)

DIM	8,573 mm
BLOCO	-1,003mm (1 bloco do jogo)

DIM	7,570 mm
BLOCO	-1,070 mm (1 bloco do jogo)

DIM	6,500 mm
BLOCO	-6,500 mm (1 bloco do jogo)

DIM	0,000 mm (total 5 blocos)
-----	------------------------------------



Mais exemplos de aplicação

■ $10,578 \pm 0,001$

→ 10,579 mm

→ 10,577 mm

■ $30,245 \begin{matrix} +0,005 \\ 0 \end{matrix}$

→ 30,250 mm

→ 30,245 mm

EPRI14 – Metrologia

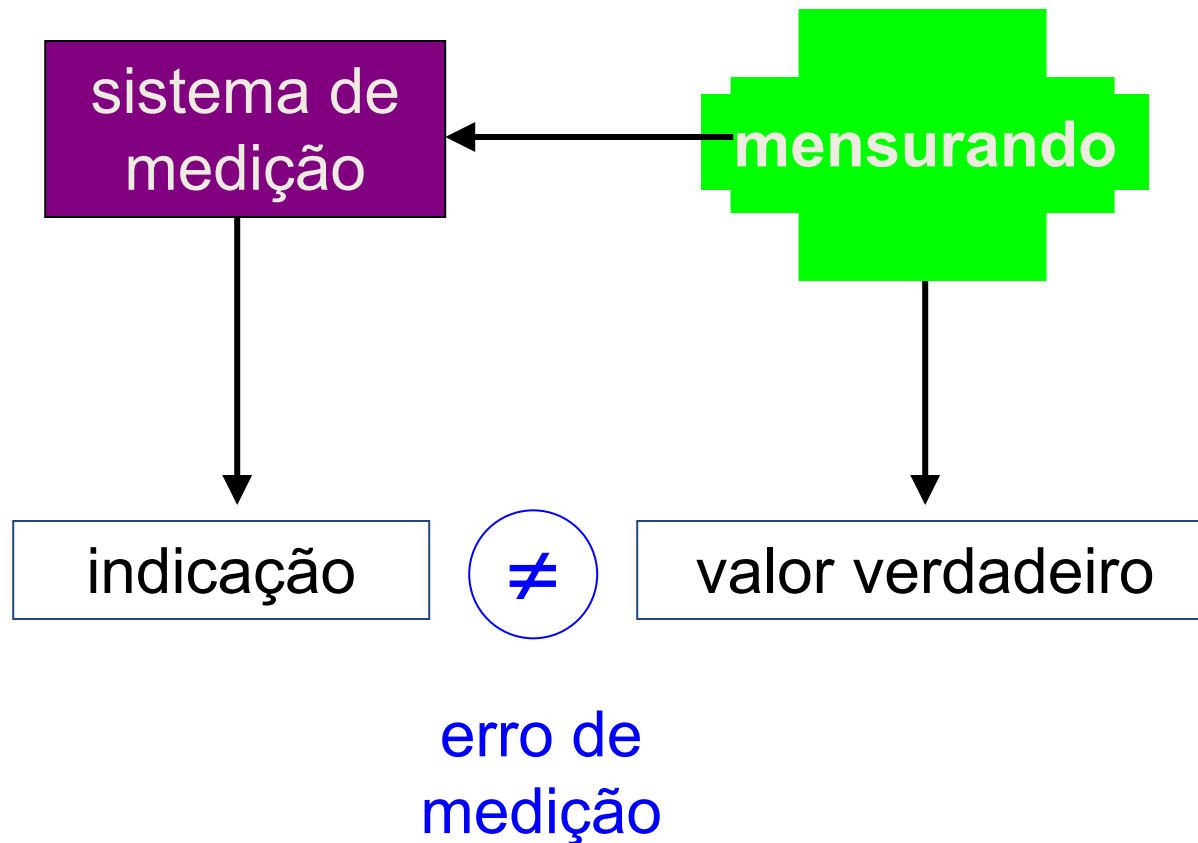
06

O Erro de Medição





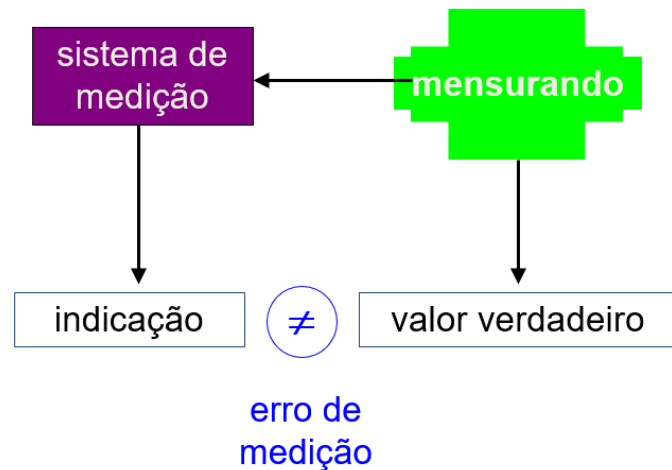
Erro de medição





Erros de Medição

- Erros causados:
 - Pelas imperfeições do sistema de qualidade;
 - Pelas limitações do operador;
 - Pelas influências das condições ambientais.
- Portanto:
 - O erro está presente toda vez que o comportamento real se afasta do ideal.





Tipos de erros

- **Erro sistemático:** é a parcela previsível do erro. Corresponde ao erro médio.
- **Erro aleatório:** é a parcela imprevisível do erro. É o agente que faz com que medições repetidas levem a distintas indicações.



Tipos de erros

- **Erro sistemático:** é a parcela previsível do erro. Corresponde ao erro médio.

◆ Exemplos de erro sistemático

- ➡ *(erro previsível, desloca todas as medições para o mesmo lado)*

- ➡ **Paquímetro descalibrado**

→ Mede sempre **+0,2 mm** a mais, em todas as medições.

- ➡ **Balança com zero errado**

→ Mesmo sem carga, indica **+50 g**.

- ➡ **Termômetro mal calibrado**

→ Marca sempre **2 °C acima** da temperatura real.

- ➡ **Relógio comparador com erro de montagem**

→ Ponta mal posicionada gera sempre o mesmo desvio.

- ➡ **Erro de paralaxe constante**

→ Operador sempre lê a escala de lado, deslocando o valor para cima.

- ➡ 🖐 **Resultado:**

- ➡ Afeta a **exatidão**

- ➡ Pode ser **corrigido** com calibração, ajuste ou correção matemática



Tipos de erros

- **Erro sistemático:** é a parcela previsível do erro. Corresponde ao erro médio.
- ➡ **◆ Exemplos de erro aleatório**
- ➡ *(erro imprevisível, varia a cada medição)*
- ➡ **Repetir a mesma medição com paquímetro**
→ Leituras: 20,02 mm | 20,05 mm | 19,98 mm | 20,01 mm
- ➡ **Leitura de instrumento analógico**
→ Pequenas variações de interpretação da escala a cada leitura.
- ➡ **Influência ambiental variável**
→ Vibração, temperatura ambiente ou corrente de ar mudando durante a medição.
- ➡ **Oscilação elétrica em sensores**
→ Ruído elétrico provoca pequenas flutuações no valor indicado.
- ➡ **Força de contato variável do operador**
→ Apertar mais ou menos o instrumento a cada medição.
- ➡ **👉 Resultado:**
- ➡ Afeta a **precisão**
- ➡ Não pode ser eliminado, apenas **reduzido** com repetição e média



Tipos de erros

- **Erro sistemático:** é a parcela previsível do erro. Corresponde ao erro médio.
- **Erro aleatório:** é a parcela imprevisível do erro. É o agente que faz com que medições repetidas levem a distintas indicações.

Tipo de erro	Comportamento	Afeta	Como tratar
Sistemático	Sempre igual	Exatidão	Calibração / correção
Aleatório	Varia	Precisão	Repetições / média



Exercícios Resolvidos – Erros de Medição

Exercício 1 – Identificação do tipo de erro

Um paquímetro apresenta um erro de $+0,10$ mm em todas as medições realizadas. Ao medir um eixo, o instrumento sempre indica um valor maior que o real.

Pergunta:

Que tipo de erro está presente? Justifique.

Resolução

O erro ocorre **sempre no mesmo sentido e com o mesmo valor**, independentemente da medição realizada.

 Trata-se de um **erro sistemático**, pois é previsível e desloca todas as medições igualmente.



Exercício 2 – Erro aleatório em medições repetidas

Um operador mede cinco vezes o diâmetro de um pino, obtendo os seguintes valores:

- 25,02 mm
- 24,98 mm
- 25,05 mm
- 25,00 mm
- 24,97 mm

Pergunta:

Qual tipo de erro está predominando? Explique.

Resolução

Os valores variam de forma **imprevisível**, para cima e para baixo, em torno de um valor médio.

 Isso caracteriza **erro aleatório**, causado por pequenas variações de leitura, força aplicada, resolução do instrumento ou ambiente.



Exercício 3 – Exatidão × Precisão

Considere duas situações:

- **Situação A:** todas as medições são muito próximas entre si, mas afastadas do valor verdadeiro.
- **Situação B:** as medições estão espalhadas, mas a média coincide com o valor verdadeiro.

Pergunta:

Associe cada situação ao tipo de erro predominante.

Resolução

- **Situação A:** erro sistemático
 - Alta precisão
 - Baixa exatidão

- **Situação B:** erro aleatório
 - Baixa precisão
 - Boa exatidão (em média)



Exercício 4 – Correção de erro sistemático

Uma balança indica 1050 g ao medir uma peça cujo valor real é 1000 g.

Perguntas:

- a) Qual o erro apresentado pela balança?
- b) Que tipo de erro é esse?

Resolução

- a) Erro = $1050 - 1000 = +50 \text{ g}$
- b) Como o erro é constante e previsível, trata-se de **erro sistemático**, normalmente corrigido por calibração.



Exercício 5 – Influência do operador

Dois operadores medem a mesma peça com o mesmo instrumento:

- Operador A: 30,01 | 30,02 | 30,01 mm
- Operador B: 29,95 | 30,08 | 29,98 mm

Pergunta:

Que tipo de erro é evidenciado no operador B?

Resolução

O operador B apresenta grande dispersão nas medições.

 Isso indica **erro aleatório**, provavelmente devido a variação na técnica de medição.



Exercício 6 – Verdadeiro ou Falso (com justificativa)

- a) O erro sistemático pode ser reduzido com a média de várias medições.
- b) O erro aleatório pode ser reduzido aumentando o número de medições.
- c) Um instrumento bem calibrado elimina completamente o erro aleatório.

Resolução

a)  Falso

→ A média não elimina erro sistemático.

b)  Verdadeiro

→ A média reduz o efeito do erro aleatório.

c)  Falso

→ A calibração corrige erro sistemático, não o aleatório.



Exercício 7 – Aplicação prática

Durante uma medição de temperatura, um termopar apresenta oscilações de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ao longo do tempo, mas sua média está correta.

Pergunta:

Que tipo de erro está presente e como tratá-lo?

Resolução

- Tipo de erro: **erro aleatório**
- Tratamento:
 - Repetir medições
 - Utilizar média
 - Melhorar condições ambientais



Tipos de erros (Relembrando...)

- **Erro sistemático:** é a parcela previsível do erro. Corresponde ao erro médio.
- **Erro aleatório:** é a parcela imprevisível do erro. É o agente que faz com que medições repetidas levem a distintas indicações.

Tipo de erro	Comportamento	Afeta	Como tratar
Sistemático	Sempre igual	Exatidão	Calibração / correção
Aleatório	Varia	Precisão	Repetições / média

◆ Resumo

- **Erro sistemático** → desloca o valor → afeta a exatidão
- **Erro aleatório** → espalha os valores → afeta a precisão
- **Média** reduz erro aleatório
- **Calibração** corrige erro sistemático

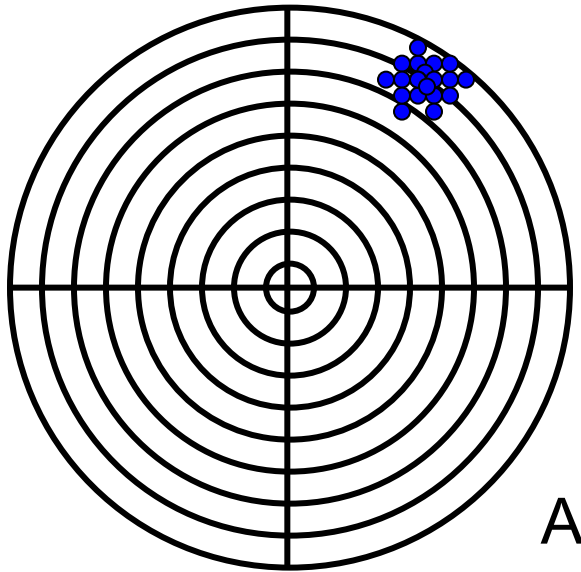


Um exemplo de erros

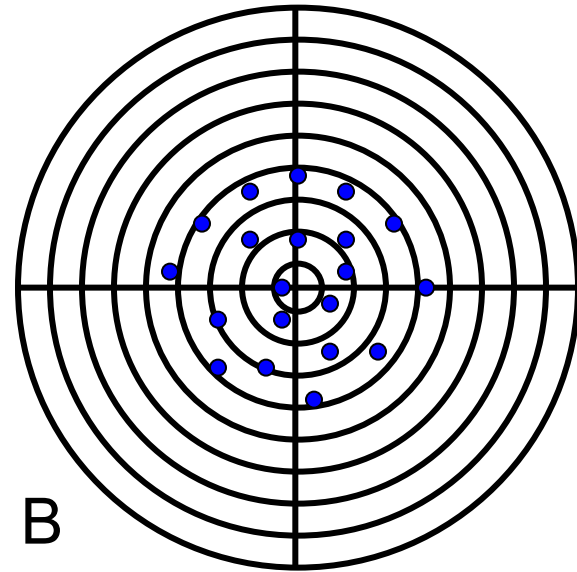
- **Teste de precisão de tiro de canhões:**
 - **Canhão situado a 500 m de alvo fixo;**
 - **Mirar apenas uma vez;**
 - **Disparar 20 tiros sem nova chance para refazer a mira;**
 - **Distribuição dos tiros no alvo é usada para qualificar canhões.**
- **Quatro concorrentes:**



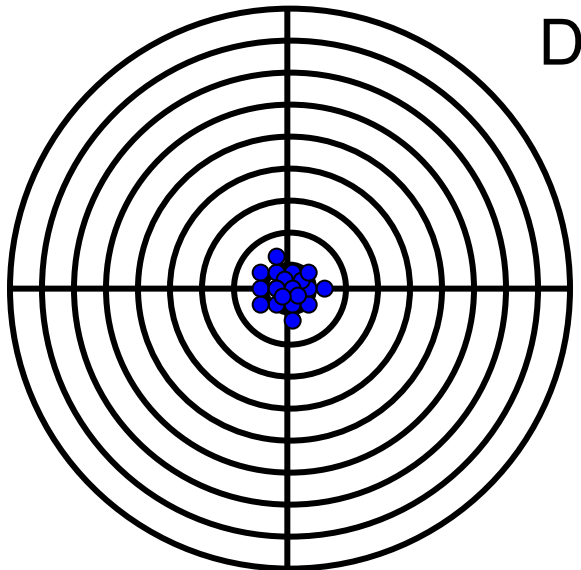
Um exemplo de erros



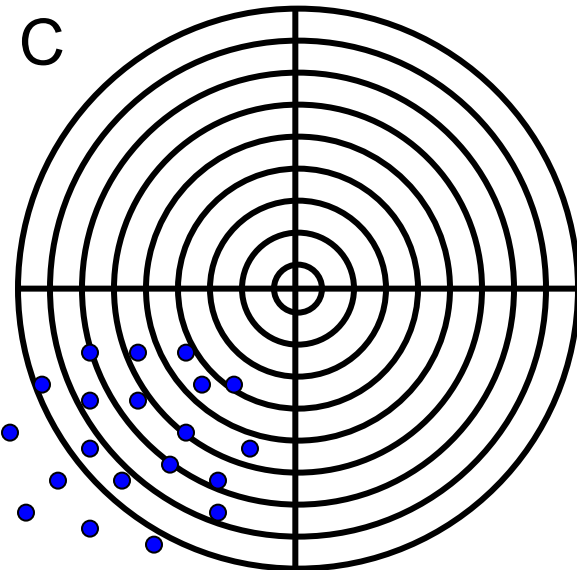
A



B



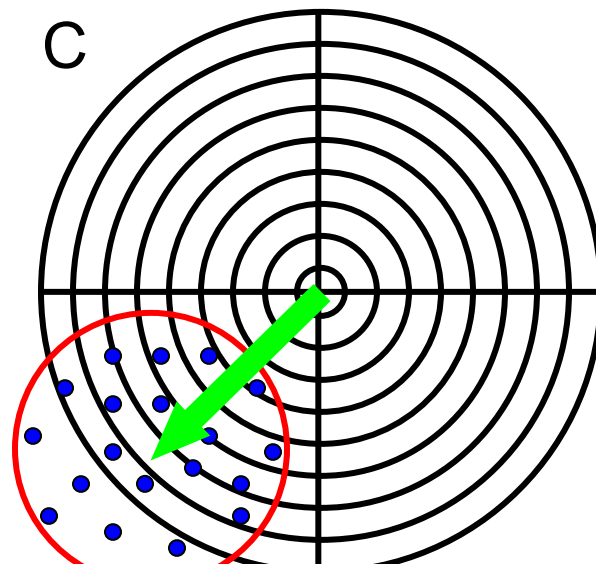
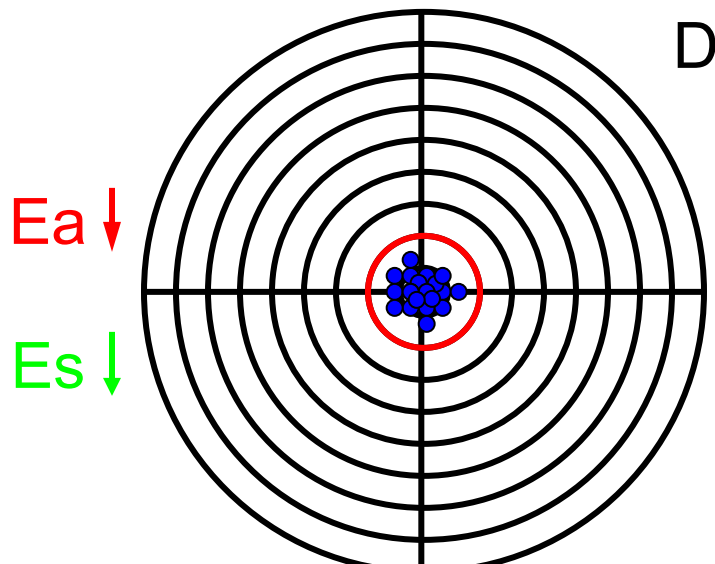
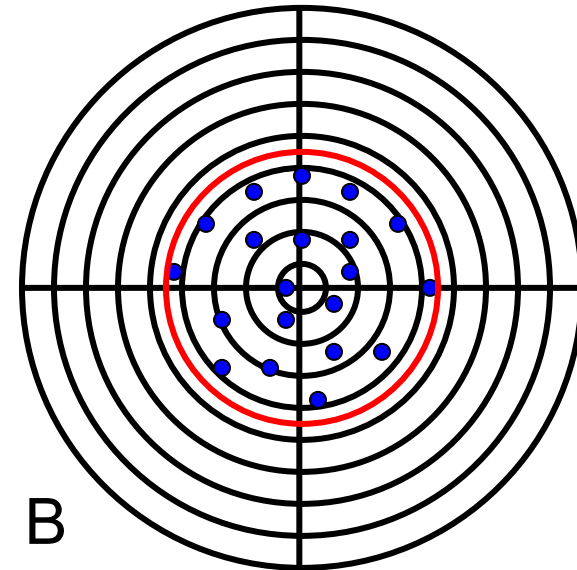
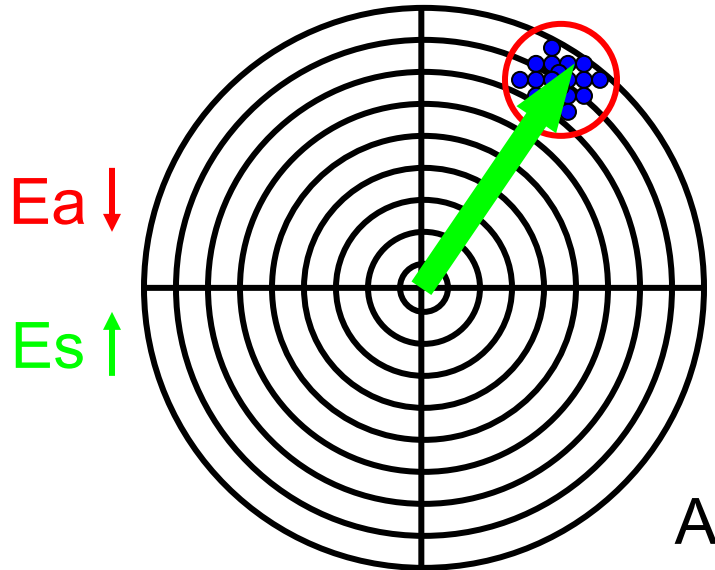
D



C



Um exemplo de erros





Precisão & Exatidão

- Então surge dois novos conceitos:
 - ➡ Exatidão: É a capacidade de um sistema funcionar sem erros;
 - ➡ Precisão: É a capacidade de obter sempre o mesmo resultado quando as repetições são efetuadas;



Precisão & Exatidão

- Portanto:
- Um sistema com ótima precisão repete bem, com pequena dispersão.
- Um sistema com excelente exatidão praticamente não apresenta erros.



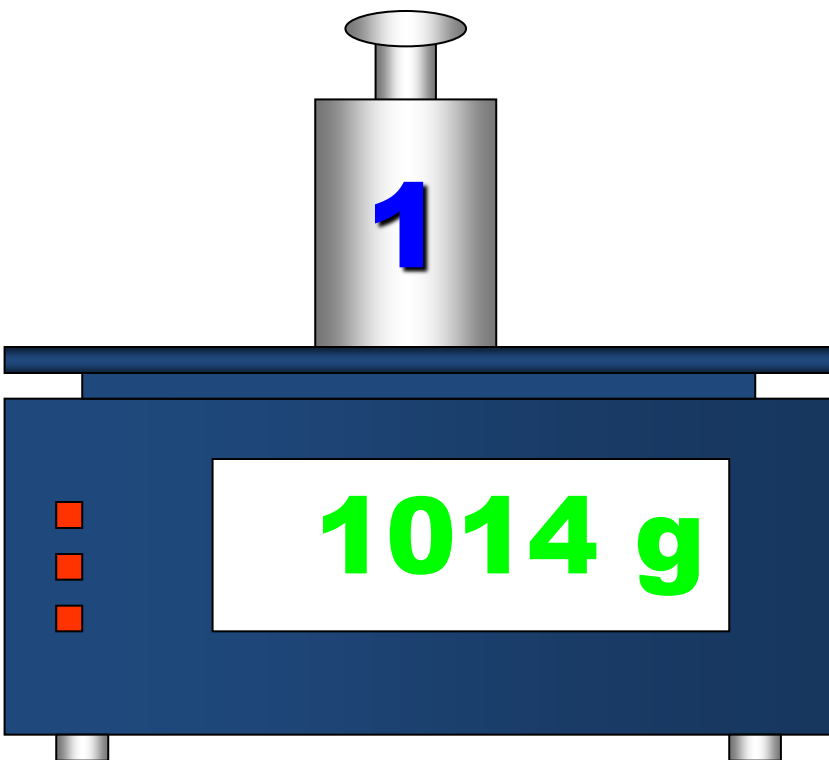
Erros de medição

- Surge um novo conceito: O erro de medição.
- O erro de medição é a diferença entre o valor indicado pelo sistema de medição e o valor verdadeiro do mensurando.



Exemplo de erro de medição

$(1000,00 \pm 0,01) \text{ g}$



$$E = I - VV$$

E = Erro de medição

I = Indicação do Sistema de Medição

VV = Valor Verdadeiro conhecido exatamente

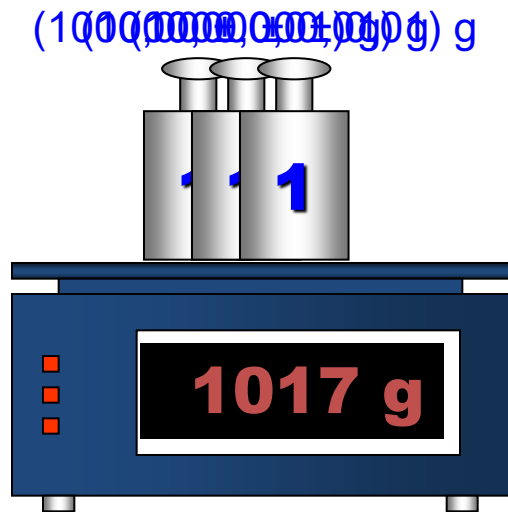
$$E = 1014 - 1000$$

$$E = (+) 14 \text{ g}$$

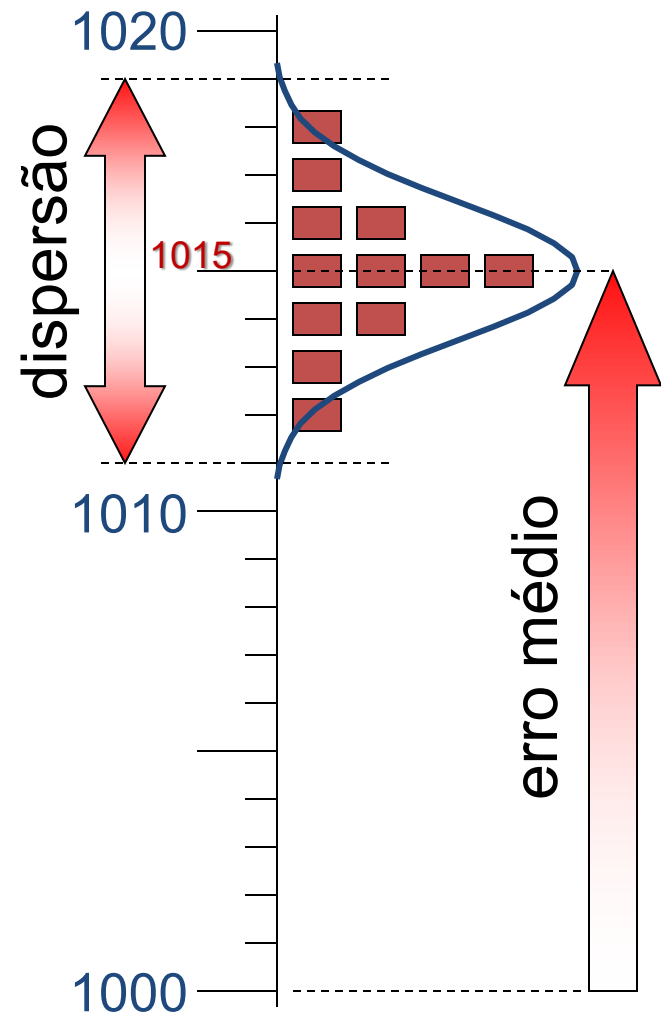
Indica a mais do
que deveria!



Erros em medições repetidas



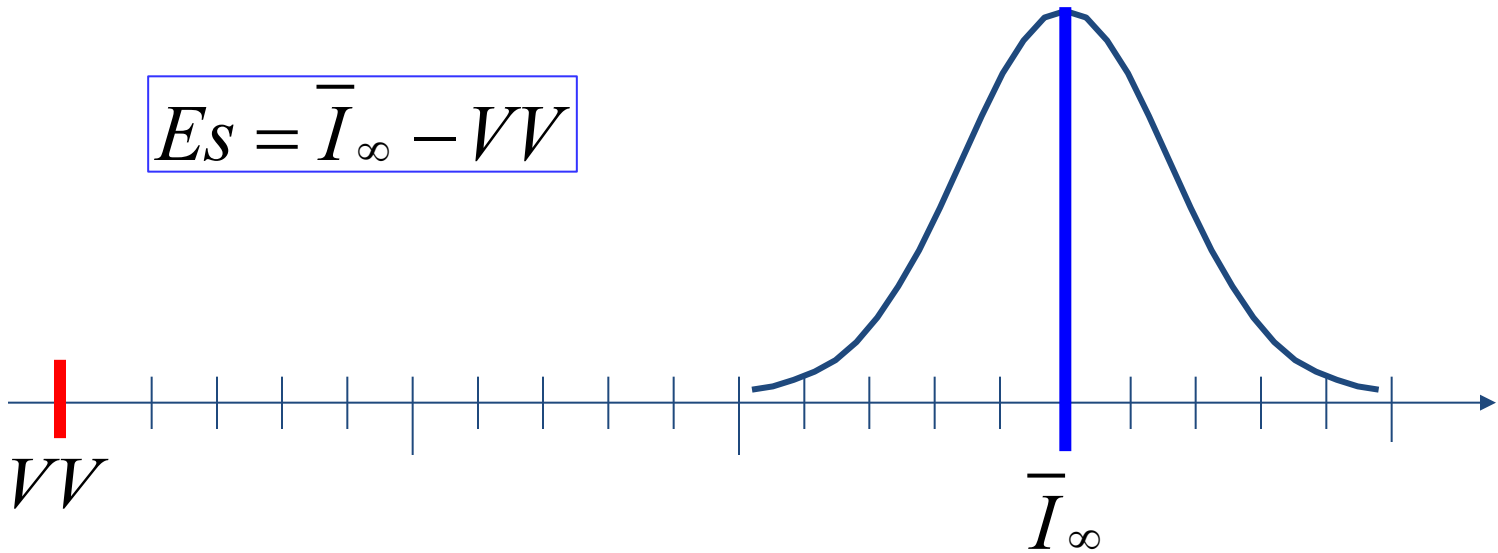
1014 g
1015 g
1017 g
1012 g
1015 g
1018 g
1014 g
1015 g
1016 g
1013 g
1016 g
1015 g





Cálculo de Erro Sistemático (E_s)

$$E_s = \bar{I}_{\infty} - VV$$



$\left\{ \begin{array}{l} \bar{I}_{\infty} = \text{média de infinitas indicações} \\ VV = \text{Valor verdadeiro conhecido exatamente} \end{array} \right\}$



Definições

- **Tendência (T_d)**

- é uma estimativa do Erro Sistemático

- **Valor Verdadeiro Convencional (VVC)**

- é uma estimativa do valor verdadeiro

- **Correção (C)**

- é a constante que, ao ser adicionada à indicação, compensa os erros sistemáticos
- é igual à tendência com sinal trocado

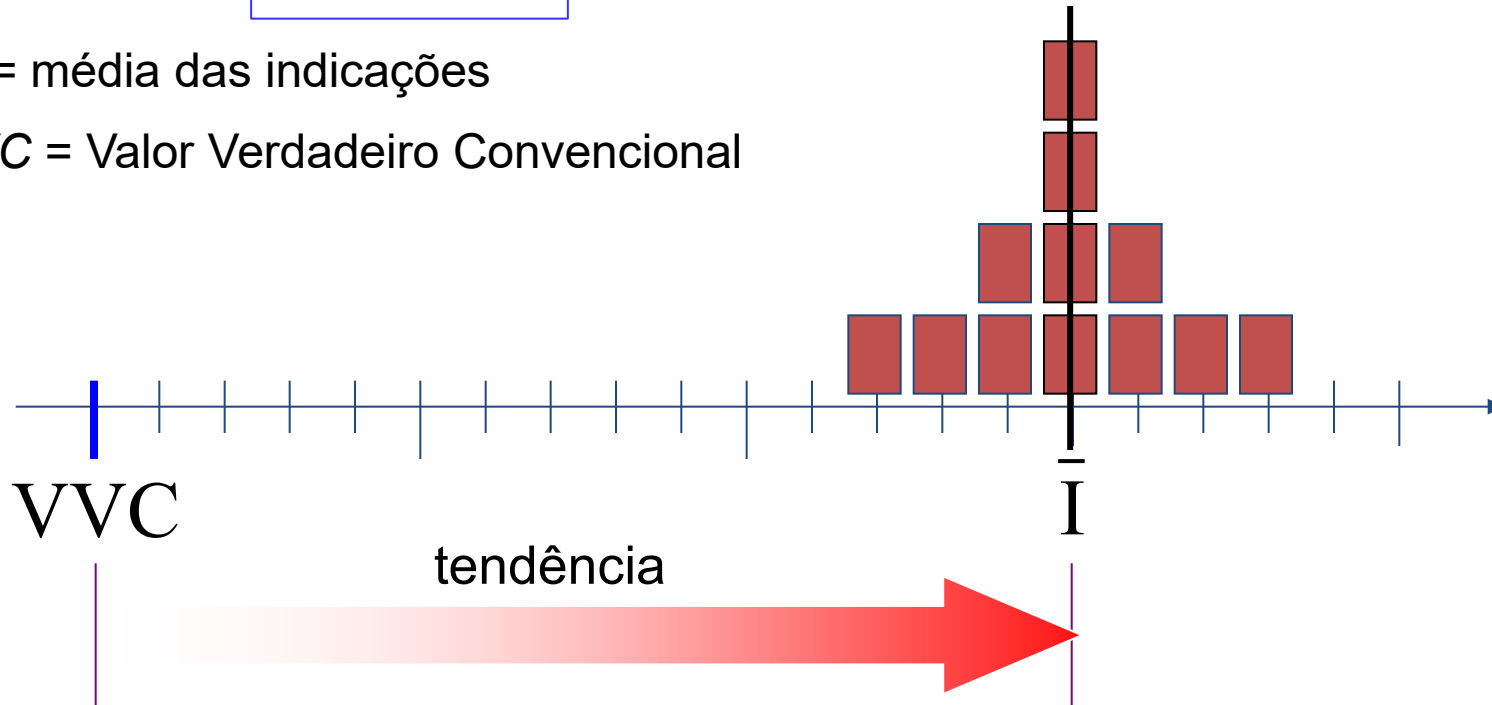


Tendência (T_d) ou Estimativa do erro sistemático

$$Td = \bar{I} - VVC$$

$\bar{I}$ = média das indicações

VVC = Valor Verdadeiro Convencional





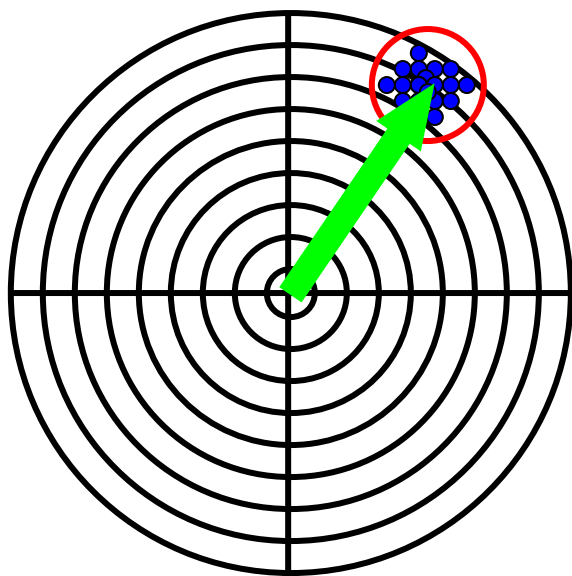
Correção (C) dos erros sistemáticos

$$Td = \bar{I} - VVC$$

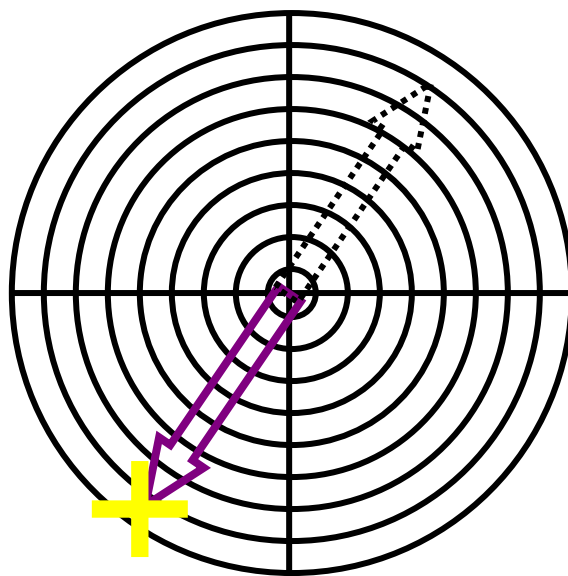
$\bar{I}$ = média das indicações

VVC = Valor Verdadeiro Convencional

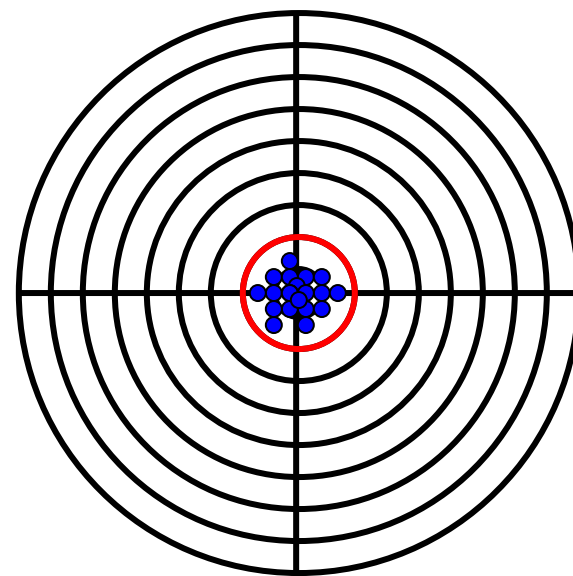
- é a constante que, ao ser adicionada à indicação, compensa os erros sistemáticos
- é igual à tendência com sinal trocado ($C = -T_d$)



T_d



$C = -T_d$





Indicação Corrigida

$$I_c = I + C$$

$$E_a = I - \bar{I}$$

$$Td = \bar{I} - VVC$$

$$C = -Td$$

$$C = VVC - \bar{I}$$

$$C = 1000 - 1015$$

$$C = -15 \text{ g}$$

Onde:

I = Indicação

C = Correção

Ic = Indicação corrigida

Ea = Erro aleatório

Nº	I	C	$I_c = I + C$	$E_a = I - \bar{I}$
1	1014	-15	999	-1
2	1015	-15	1000	0
3	1017	-15	1002	2
4	1012	-15	997	-3
5	1015	-15	1000	0
6	1018	-15	1003	3
7	1014	-15	999	-1
8	1015	-15	1000	0
9	1016	-15	1001	1
10	1013	-15	998	-2
11	1016	-15	1001	1
12	1015	-15	1000	0
média	1015	-15	1000	0

VVC = Valor verdadeiro convencional = **1000 g**

$E_a = I_c - VVC \Rightarrow$ Erro aleatório = indicação corrigida – valor verdadeiro convencional



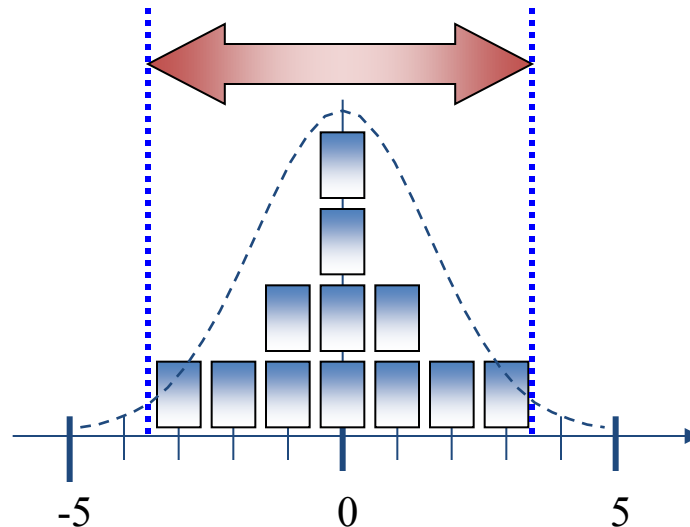
Erro aleatório e repetitividade

$$Ea_i = I_i - \bar{I}$$

$\bar{I}$ = média das indicações

I = indicações

i = medidas



A repetitividade define a faixa dentro da qual espera-se que o erro aleatório esteja contido.

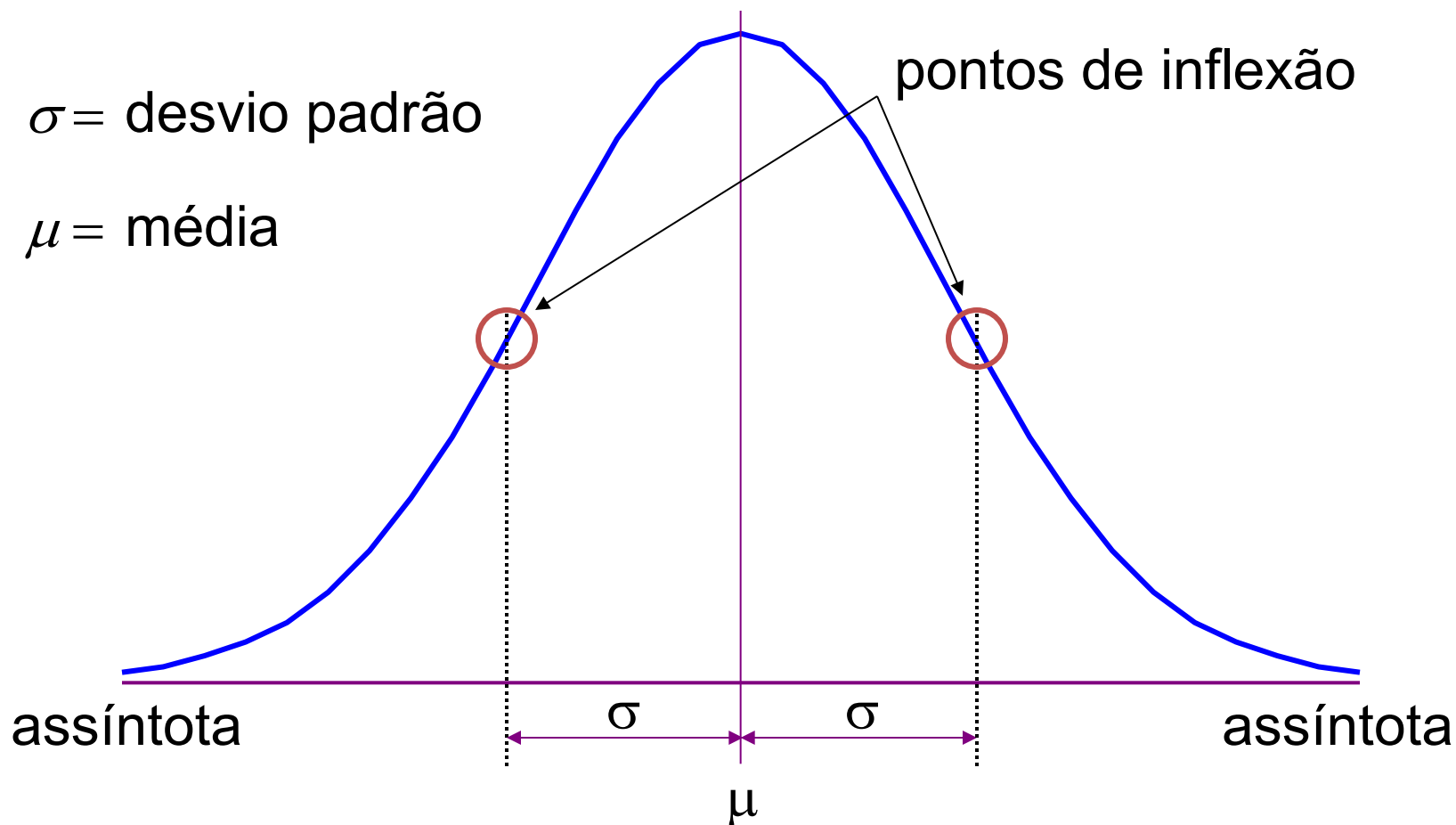


Teorema central do limite

- Quanto mais variáveis aleatórias forem combinadas, tanto mais o comportamento da combinação se aproximará do comportamento de uma distribuição normal (ou gaussiana).



Curva normal



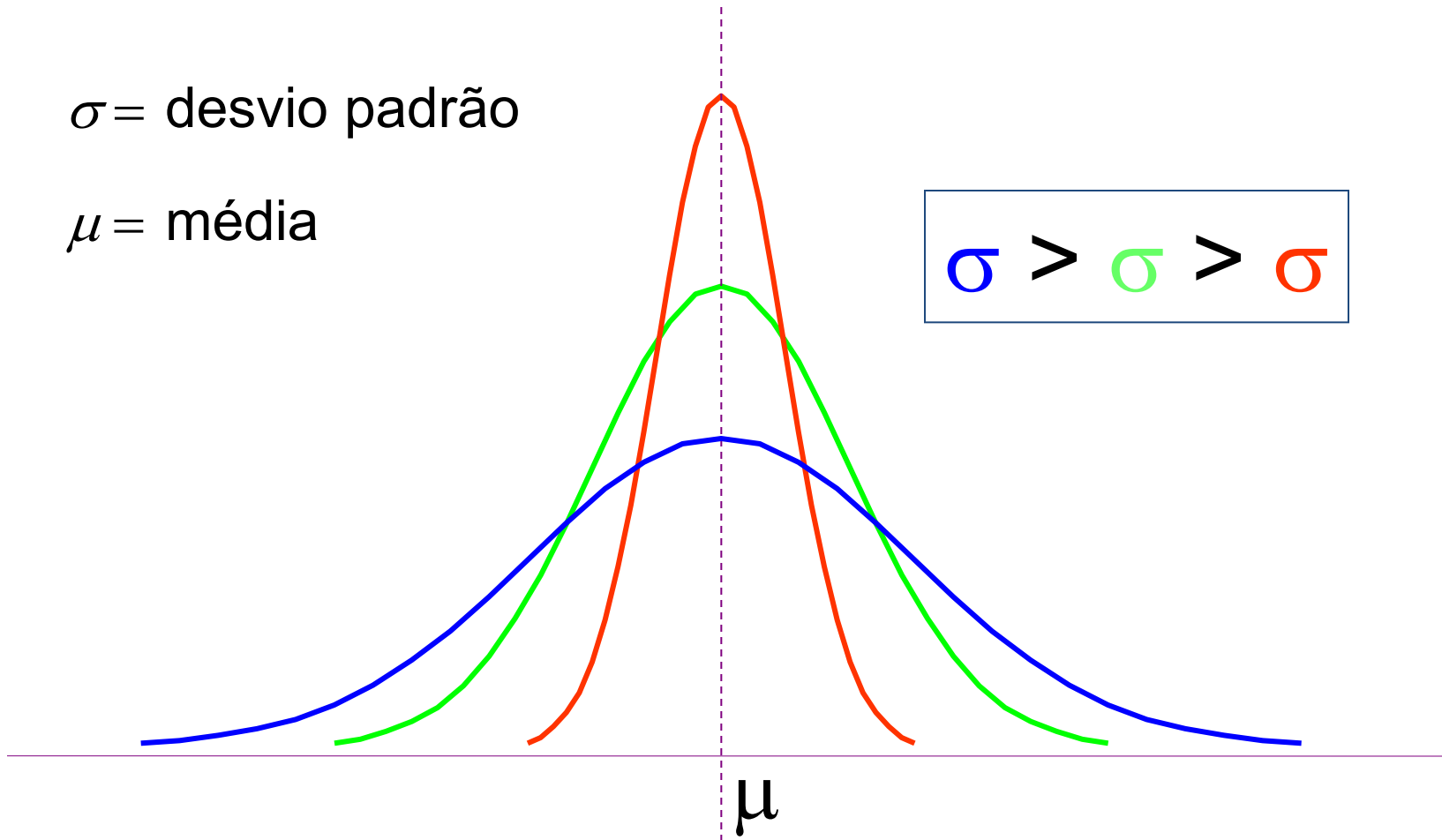


Efeito do desvio padrão

σ = desvio padrão

μ = média

$$\sigma > \sigma > \sigma$$





Cálculo (σ) e estimativa do desvio padrão (s)

cálculo exato:
(da população)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n}}$$

estimativa:
(da amostra)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}}$$

I_i

i-ésima indicação

$\bar{I}$

média das " n " indicações

n

número de medições repetitivas efetuadas



Cálculo (σ)

cálculo exato:
(da população)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n}}$$

I_i i-ésima indicação
 $\bar{I}$ média das " n " indicações
 n número de medições repetitivas efetuadas

✓ Quando essa fórmula é correta

- Quando **todas as medições possíveis** da grandeza foram consideradas
- Ou quando o conjunto analisado é a **população inteira**
- Exemplo:
 - Todas as leituras de um ensaio fechado
 - Todos os valores registrados por um sistema em um intervalo finito conhecido

👉 Aqui, **não há incerteza estatística sobre a média**, pois ela é a média populacional.



Cálculo da estimativa do desvio padrão (s)

estimativa:
(da amostra)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

I_i i-ésima indicação

$\bar{I}$ média das " n " indicações

n número de medições repetitivas efetuadas

✓ Quando essa fórmula é correta

- Quando as medições representam **apenas uma amostra**
- A média $\bar{I}$ é **estimada a partir dos próprios dados**
- Aplica-se a **correção de Bessel** ($n - 1$) para evitar viés

👉 Essa é a forma **estatisticamente correta** para estimar a variabilidade real do processo de medição.



Incerteza padrão (u)

Desvio padrão (s)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}}$$

I_i i -ésima indicação

$\bar{I}$ média das " n " indicações

n número de medições repetitivas efetuadas

- u é a medida da intensidade da componente aleatória do erro de medição.
- corresponde à estimativa do desvio padrão da distribuição dos erros de medição.
- $u = s$ (incerteza padrão u é igual ao desvio padrão s)
- Graus de liberdade (ν):
 - ➡ corresponde ao número de medições (n) repetidas menos um.
 - ➡ $\nu = n - 1$

Incerteza padrão (u)

Desvio padrão (s)

- ➡ Objetivo dos slides:
- ➡ • Entender quando $u = s$
- ➡ • Entender quando $u \neq s$
- ➡ • Evitar erros conceituais em provas e relatórios

Quando $u = s$

Incerteza padrão (u)

Desvio padrão (s)

➡ Situação:

- ➡ • Avaliação Tipo A (estatística)
- ➡ • Interesse em uma medição individual
- ➡ • Erros puramente aleatórios

➡ Conclusão:

- ➡ A incerteza padrão (u) é igual ao desvio padrão (s) experimental.

Expressão matemática ($u = s$)

Incerteza padrão (u)

Desvio padrão (s)

➡ Desvio padrão experimental:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

➡ Incerteza padrão da medição individual:

➡ $u = s$

Quando $u \neq s$

Incerteza padrão (u)

Desvio padrão (s)

➡ Situação:

➡ • Resultado reportado é a média

➡ • Várias medições repetidas

➡ • Mensurando passa a ser $\bar{x}$

➡ A média $\bar{x}$ reduz o efeito dos erros aleatórios.

Expressão matemática ($u \neq s$)

Incerteza padrão (u)

Desvio padrão (s)

➡ Incerteza padrão da média:

$$\Rightarrow u(\bar{x}) = (s / \sqrt{n})$$

➡ Para $n > 1$:

$$\Rightarrow u(\bar{x}) > s$$

Resumo comparativo

Incerteza padrão (u)

Desvio padrão (s)

➡ Medição individual:

➡ • Mensurando: x_i

➡ • Incerteza: $u = s$

➡ Média das medições:

➡ • Mensurando: $\bar{x}$

➡ • Incerteza: $u = s / \sqrt{n}$

Exercício proposto

Incerteza padrão (u)

Desvio padrão (s)

➡ Uma grandeza foi medida 4 vezes (mm):

➡ 25,02 – 25,00 – 25,01 – 24,99

➡ a) Calcule a média

➡ b) Determine o desvio padrão s

➡ c) Calcule a incerteza da média

➡ d) Explique por que $u \neq s$

Solução do exercício

Incerteza padrão (u)

Desvio padrão (s)

➡ Média:

➡ $\bar{x} = 25.005 \text{ mm}$

➡ Desvio padrão:

➡ $s = 0.0129 \text{ mm}$

➡ Incerteza da média:

➡ $u = s / \sqrt{n} = 0.0065 \text{ mm}$, onde $n = 4$ medidas

➡ Conclusão:

➡ $u \neq s$ porque a incerteza está associada à média.

Avaliação Tipo A da Incerteza (GUM)

- ➡ Estes slides tratam especificamente da Avaliação Tipo A da Incerteza, conforme definida no GUM.
- ➡ GUM = *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (Guia para a Expressão da Incerteza de Medição)
- ➡ O GUM é o documento internacional que estabelece as regras para avaliar, combinar e expressar incertezas de medição.

O que é o GUM?

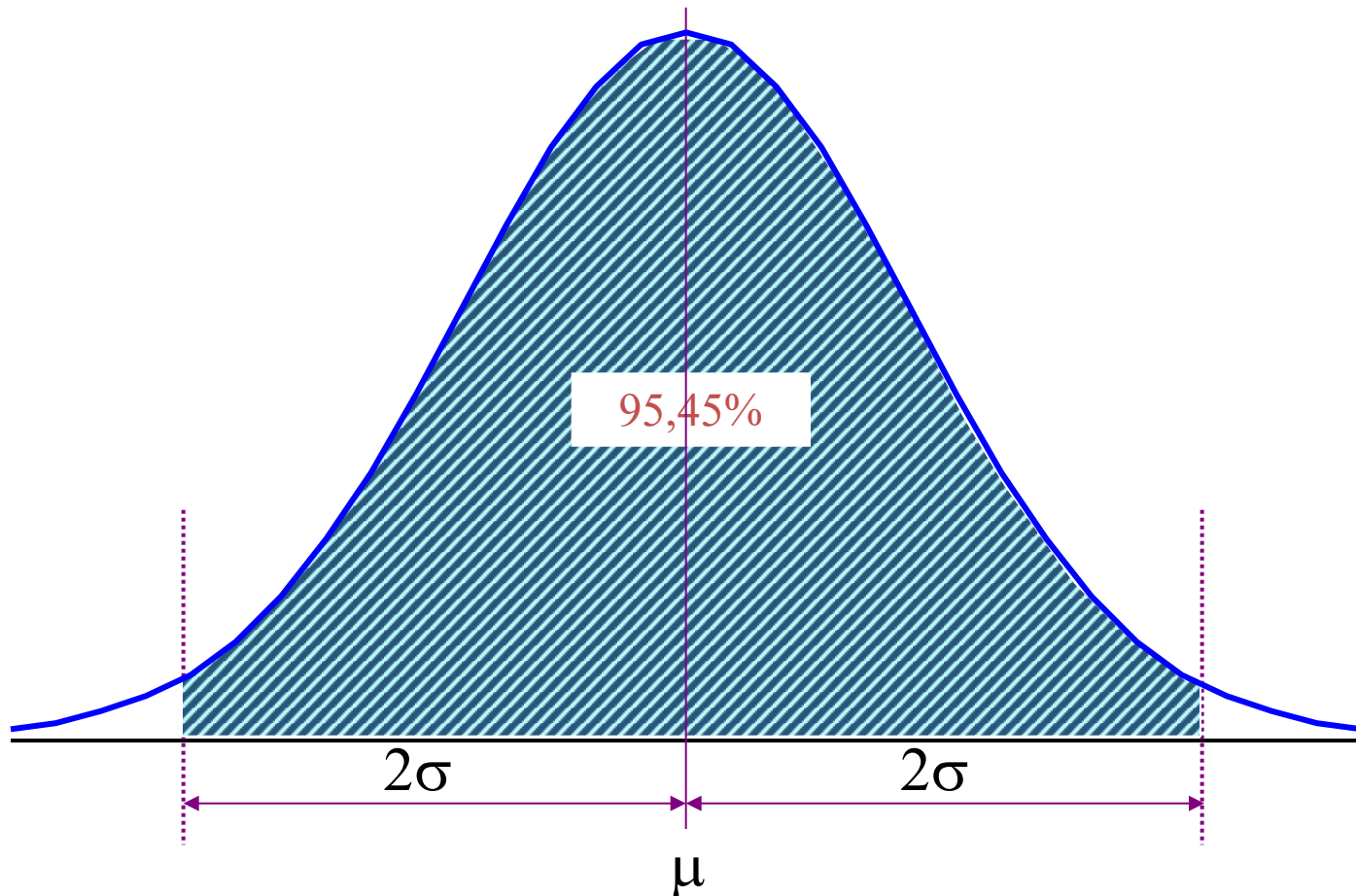
- ➡ O GUM é um guia publicado por organismos internacionais de metrologia (BIPM, ISO, IEC, OIML, entre outros).
- ➡ Ele padroniza:
 - conceitos de erro e incerteza
 - avaliação Tipo A e Tipo B
 - forma correta de expressar resultados de medição
- ➡ Seu uso é obrigatório em laboratórios, relatórios técnicos e trabalhos científicos.



Área sobre a curva normal na Metrologia

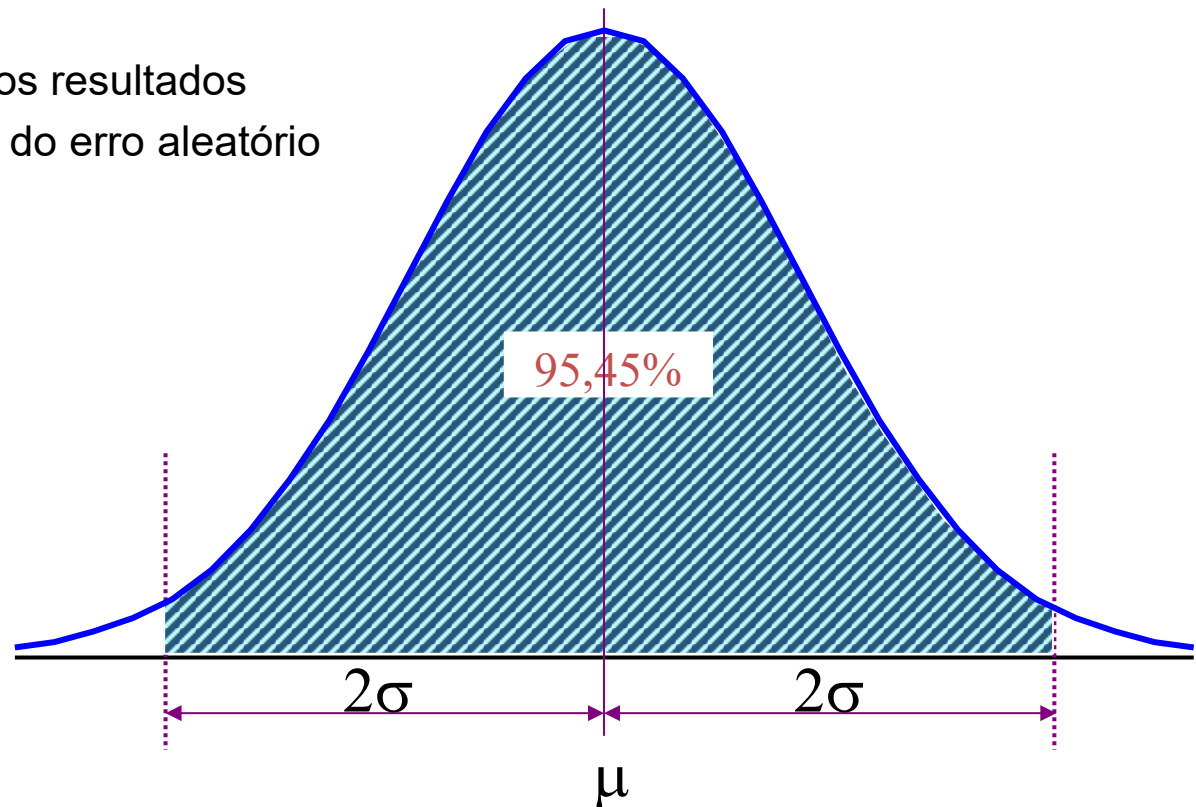
- Aplicação da distribuição normal na avaliação da incerteza
- Base conceitual utilizada no GUM

Distribuição Normal: 95,45% dentro de $\pm 2\sigma$



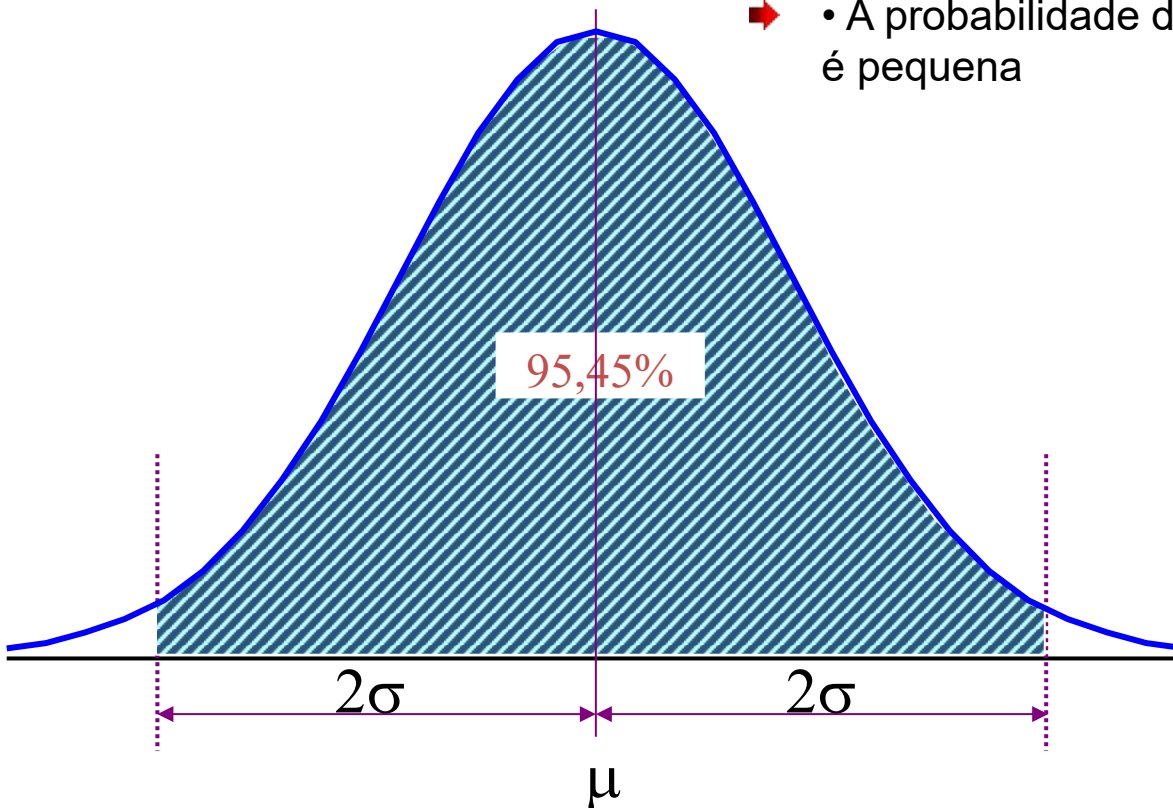
Significado de μ e σ

- ➡ μ (média):
 - Melhor estimativa da grandeza medida
 - Centro da distribuição
- ➡ σ (desvio padrão):
 - Mede a dispersão dos resultados
 - Indica a intensidade do erro aleatório



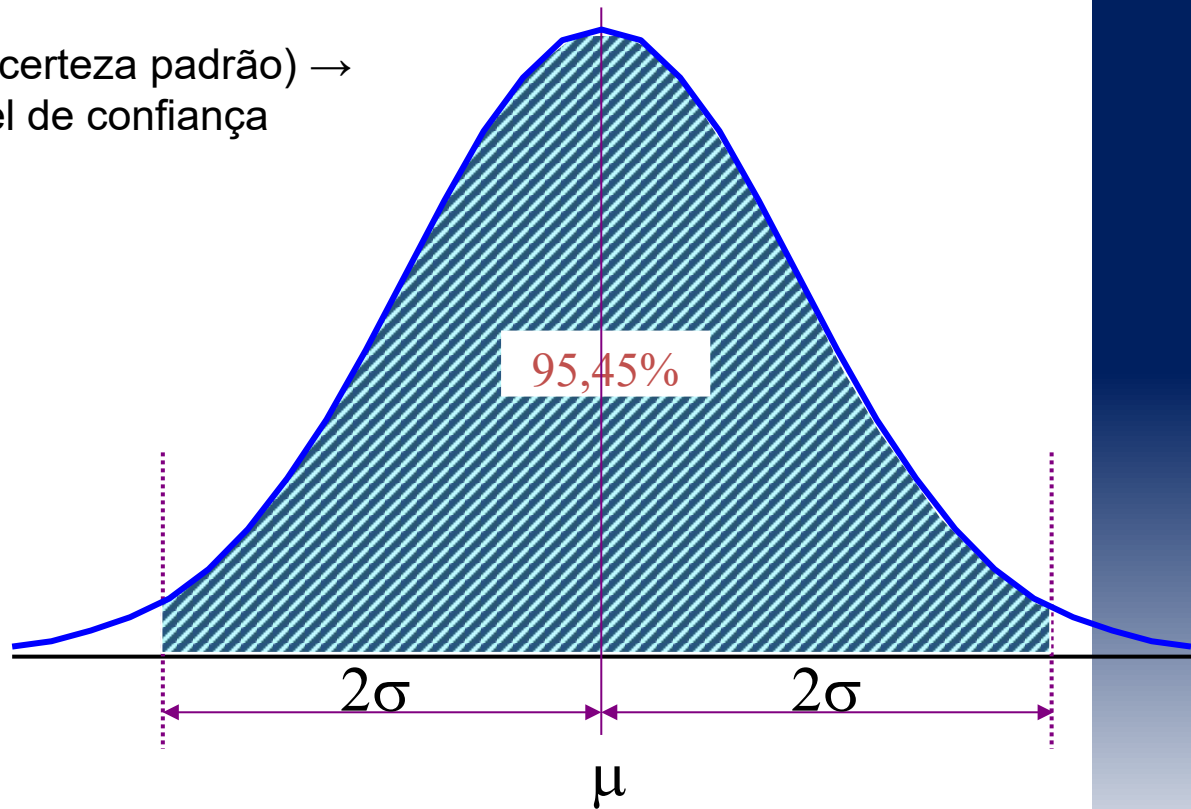
Interpretação da Área de 95,45%

- ➔ Entre $\mu - 2\sigma$ e $\mu + 2\sigma$ estão aproximadamente 95,45% dos resultados.
- ➔ Isso significa que:
 - ➔ • A maioria das medições ocorre dentro desse intervalo
 - ➔ • A probabilidade de um valor fora desse intervalo é pequena



Relação com Incerteza (GUM)

- ➡ Incerteza padrão: $u = \sigma$ (desvio padrão)
- ➡ Incerteza expandida: $U = k \cdot u$
- ➡ Para $k = 2$:
- ➡ Incerteza expandida $U \approx 2u$ (Incerteza padrão) → aproximadamente 95% de nível de confiança

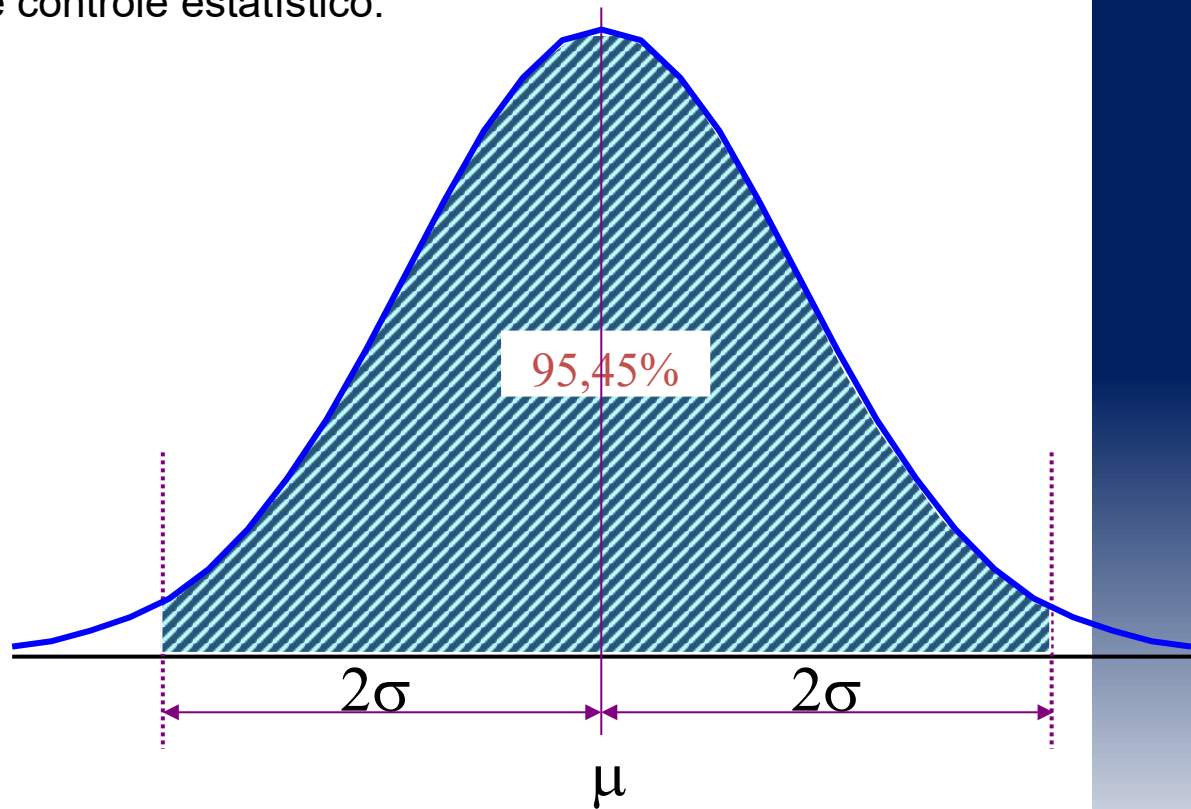


Regra Prática da Distribuição Normal

Desvio padrão (σ):

- ➡ $\pm 1\sigma \rightarrow 68,27\%$
- ➡ $\pm 2\sigma \rightarrow 95,45\%$
- ➡ $\pm 3\sigma \rightarrow 99,73\%$

- ➡ Muito utilizada em metrologia e controle estatístico.





Estimativa da repetitividade (Re)

(para 95,45 % de probabilidade)

A repetitividade define a faixa dentro da qual, para uma dada probabilidade, o erro aleatório é esperado.

Para amostras infinitas:

$$Re = 2 \cdot \sigma$$

Para amostras finitas:

$$Re = t \cdot u$$

Sendo “t” o coeficiente de Student para $\nu = n - 1$ graus de liberdade.

n = é o tamanho da amostra; σ = desvio padrão; u = incerteza padrão.



Coeficiente “t” de Student

$v = n - 1$ graus de liberdade.

n = é o tamanho da amostra

v	t	v	t	v	t	v	t
1	13,968	10	2,284	19	2,140	80	2,032
2	4,527	11	2,255	20	2,133	90	2,028
3	3,307	12	2,231	25	2,105	100	2,025
4	2,869	13	2,212	30	2,087	150	2,017
5	2,649	14	2,195	35	2,074	200	2,013
6	2,517	15	2,181	40	2,064	1000	2,003
7	2,429	16	2,169	50	2,051	10000	2,000
8	2,366	17	2,158	60	2,043	100000	2,000
9	2,320	18	2,149	70	2,036	∞	2,000



Exemplo de estimativa da repetitividade (Re)

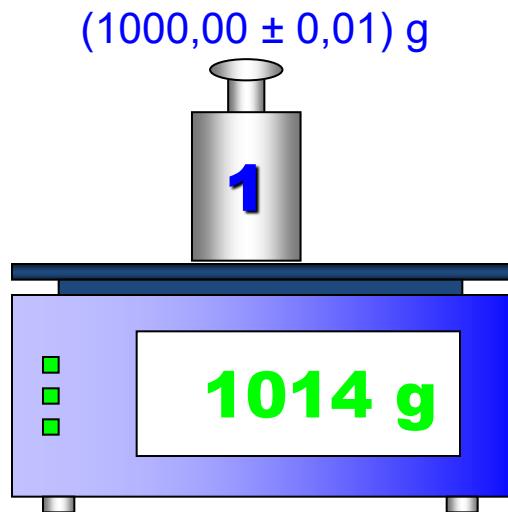
u = incerteza padrão.

$\nu = n - 1$ graus de liberdade.

t = coeficiente de Student.

Re = Repetitividade.

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$



1014 g
1015 g
1017 g
1012 g
1015 g
1018 g
1014 g
1015 g
1016 g
1013 g
1016 g
1015 g

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - 1015)^2}{12 - 1}}$$

$n = 12$ (n° de medidas)

$u = 1,65$ g

$\nu = 12 - 1 = 11$

$t = 2,255$

$Re = 2,255 \cdot 1,65$

$Re = 3,72$ g

Média $\bar{I}$: 1015 g



Exemplo de estimativa da repetitividade (Re)

u = incerteza padrão.

t = coeficiente de Student.

$\nu = n - 1$ graus de liberdade.

Re = Repetitividade.

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - 1015)^2}{12 - 1}}$$

$n = 12$ (n° de medidas)

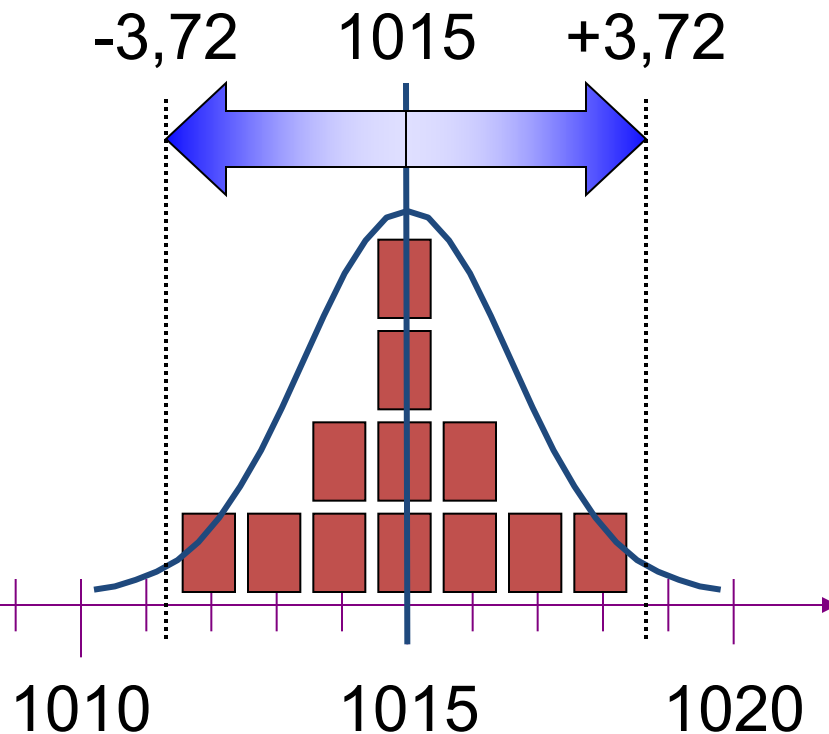
$u = 1,65$ g

$\nu = 12 - 1 = 11$

$t = 2,255$

$Re = 2,255 \cdot 1,65$

$Re = 3,72$ g





Efeitos da média de medições repetidas sobre o erro de medição

- **Efeito sobre os erros sistemáticos:**
 - Como o erro sistemático já é o erro médio, nenhum efeito é observado.



Efeitos da média de medições repetidas sobre o erro de medição

■ Efeitos sobre os erros aleatórios

- ➡ A média reduz a intensidade dos erros aleatórios, a repetitividade e a incerteza padrão na seguinte proporção:

$$\text{Re}_{\bar{I}} = \frac{\text{Re}_I}{\sqrt{n}} \qquad u_{\bar{I}} = \frac{u_I}{\sqrt{n}}$$

sendo:

n o número de medições utilizadas para calcular a média



Efeitos da média de medições repetidas sobre o erro de medição

- ➡ No problema anterior, a repetitividade da balança foi calculada:

$$\text{Re}_I = 3,72 \text{ g}$$

- ➡ Se várias séries de 12 medições fossem efetuadas, as médias obtidas devem apresentar repetitividade da ordem de:

$$\text{Re}_{\bar{I}_{12}} = \frac{3,72}{\sqrt{12}} = 1,07 \text{ g}$$

Interpretação Correta do Exemplo (n = 12)

Exemplo de estimativa da repetitividade (*Re*)

u = incerteza padrão.

t = coeficiente de Student.

$\nu = n - 1$ graus de liberdade.

***Re* = Repetitividade.**

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

s = desvio padrão das medições individuais.

- ➡ Foram realizadas 12 medições.
- ➡ Com esses dados foi calculado o desvio padrão experimental.
- ➡ $s = 1,65$ g (desvio padrão das medições individuais)
- ➡ Graus de liberdade: $\nu = 11$
- ➡ $t(95\%) = 2,255$

O que representa $s = 1,65 \text{ g}$?

- ➡ s é o desvio padrão das medições individuais.
- ➡ Representa a variabilidade típica de uma leitura isolada.
- ➡ Mesmo tendo usado 12 dados para estimar, ele descreve o comportamento de uma única medição.

Cálculo feito no slide

Exemplo de estimativa da repetitividade (*Re*)

u = incerteza padrão.

t = coeficiente de Student.

$\nu = n - 1$ graus de liberdade.

***Re* = Repetitividade.**

s = desvio padrão das medições individuais.

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

➡ $Re = t \cdot s$

➡ $Re = 2,255 \times 1,65$

➡ $Re = 3,72 \text{ g}$

➡ Esse valor NÃO é a incerteza da média.

O que é 3,72 g então?

u = incerteza padrão.

t = coeficiente de Student.

$\nu = n - 1$ graus de liberdade.

Re = Repetitividade.

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

s = desvio padrão das medições individuais.

➡ 3,72 g é o intervalo expandido baseado em $t \cdot s$.

➡ Representa o intervalo associado às medições sem aplicar a redução pela média.

Forma correta para a média das 12 medições

u = incerteza padrão.

t = coeficiente de Student.

$\nu = n - 1$ graus de liberdade.

Re = Repetitividade.

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

s = desvio padrão das medições individuais.

n o número de medições utilizadas para calcular a média

➡ Primeiro calcula-se a incerteza da média:

$$➡ u(\bar{x}) = s / \sqrt{n}$$

$$➡ u(\bar{x}) = 1,65 / \sqrt{12} = 0,476 \text{ g}$$

➡ Depois aplica-se o fator t .

Intervalo correto da média

u = incerteza padrão.

t = coeficiente de Student.

$\nu = n - 1$ graus de liberdade.

Re = Repetitividade.

s = desvio padrão das medições individuais.

n o número de medições utilizadas para calcular a média

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

➡ $U = t \cdot (s / \sqrt{n})$

➡ $U = 2,255 \times (0,476)$

➡ $U = 1,07 \text{ g}$

➡ Este é o intervalo associado à MÉDIA das 12 medições.

- ➡ 1,65 g → desvio padrão das leituras individuais
- ➡ 3,72 g → $t \cdot s$ (sem redução pela média)
- ➡ 1,07 g → $t \cdot (s/\sqrt{n})$ → incerteza correta da média

- ➡ A média reduz apenas erros aleatórios.



Exemplo 2

- ➡ Para medir a massa de um diamante cor de rosa, o dono da joalheria solicitou a calibração da balança. Para tal, uma massa padrão de $(7,000 \pm 0,001)$ g foi então medida seis vezes pela balança, sendo encontradas as indicações listadas abaixo (todas em g). Com estes dados, determine a R_e , a T_d e a correção desta balança e o novo resultado da medição da massa do diamante. Indicações resultantes da medição da massa padrão encontram-se na tabela abaixo:



Exemplo 2

RESULTADO DAS MEDIÇÕES	
1	6,979g
2	6,964g
3	6,968g
4	6,972g
5	6,971g
6	6,966g

Exemplo 2 – Calibração da balança

- ➡ Dados: massa padrão $(7,000 \pm 0,001)$ g medida 6 vezes.
- ➡ Pede-se: R_e , T_d , correção da balança e novo resultado da massa do diamante.

Exemplo 2

- ➡ Para medir a massa de um diamante cor de rosa, o dono da joalheria solicitou a calibração da balança. Para tal, uma massa padrão de $(7,000 \pm 0,001)$ g foi então medida seis vezes pela balança, sendo encontradas as indicações listadas abaixo (todas em g). Com estes dados, determine a R_e , a T_d e a correção desta balança e o novo resultado da medição da massa do diamante. Indicações resultantes da medição da massa padrão encontram-se na tabela abaixo:



Exemplo 2

RESULTADO DAS MEDIÇÕES	
1	6,979g
2	6,964g
3	6,968g
4	6,972g
5	6,971g
6	6,966g

Cálculos (n = 6)

Coeficiente “t” de Student

$v = n - 1$ graus de liberdade.

n = é o tamanho da amostra

v	t	v	t
1	13,968	10	2,284
2	4,527	11	2,255
3	3,307	12	2,231
4	2,869	13	2,212
5	2,649	14	2,195
6	2,517	15	2,181
7	2,429	16	2,169
8	2,366	17	2,158
9	2,320	18	2,149

➡ 1) Média das indicações:

➡ $\bar{x} = 6.970 \text{ g}$

➡ 2) Desvio padrão experimental:

➡ $s = 0.005329 \text{ g} \approx 0.0053 \text{ g}$

➡ Graus de liberdade: $v = n - 1 = 5$

➡ 3) Fator t (95%):

➡ t (nível de confiança de aproximadamente 95%, $v = 5$) = 2.571

➡ 4) Repetitividade (95%):

➡ $Re = t \cdot s = 2.571 \cdot 0.0053 = 0.0137 \text{ g}$

Nível de confiança, para um intervalo bilateral	t
90%	2,015
95%	2,571
99%	4,032

Como ler corretamente a Tabela t de Student

- ➡ Objetivo:
- ➡ • Evitar confusão entre unilateral e bilateral
- ➡ • Entender onde entra α e $\alpha/2$
- ➡ • Saber escolher corretamente o valor de t

Relação entre Confiança e α

➡ Nível de confiança = $1 - \alpha$

➡ Exemplo:

➡ 95% $\rightarrow \alpha = 0,05$

➡ 90% $\rightarrow \alpha = 0,10$

➡ 99% $\rightarrow \alpha = 0,01$

Intervalo Bilateral ($\pm$)

- ➡ Usado em metrologia.
- ➡ Forma:
- ➡ $\bar{x} \pm t \cdot s$
- ➡ Erro pode ocorrer para cima ou para baixo.
- ➡ Logo:
- ➡ Divide-se α em duas partes $\rightarrow \alpha/2$ em cada cauda.
- ➡ Para 95%:
- ➡ $\alpha = 0,05 \rightarrow \alpha/2 = 0,025$

Intervalo Unilateral

- ➡ Usado quando o erro importa apenas em um lado.
- ➡ Exemplo:
- ➡ Limite máximo permitido.
- ➡ Neste caso:
- ➡ Não divide α por 2.
- ➡ Usa-se α inteiro na tabela.

Exemplo Prático ($v = 5$)

- ➡ $n = 6$ medições $\rightarrow v = n - 1 = 5$
- ➡ Para 95% BILATERAL:
 - ➡ $\alpha = 0,05 \rightarrow \alpha/2 = 0,025$
 - ➡ Na tabela: procurar coluna 0,025
 - ➡ Resultado: $t = 2,571$
- ➡ Para 95% UNILATERAL:
 - ➡ Procurar coluna 0,05
 - ➡ $t \approx 2,015$

Resumo Comparativo ($v = 5$)

- ➡ 95% bilateral $\rightarrow$ usar $\alpha/2 = 0,025 \rightarrow t = 2,571$
- ➡ 95% unilateral $\rightarrow$ usar $\alpha = 0,05 \rightarrow t = 2,015$
- ➡ Conclusão:
- ➡ Sempre verificar se o intervalo é $\pm$ (bilateral)
- ➡ ou apenas um limite (unilateral).

Tendência (Td) e correção (C)

- ➡ Valor de referência: $m_{\text{ref}} = 7.000 \text{ g}$
- ➡ Média indicada: $\bar{x} = 6.970 \text{ g}$
- ➡ Tendência (erro de indicação):
 - ➡ $Td = \bar{x} - m_{\text{ref}} = -0.030 \text{ g}$
- ➡ Correção da balança (a somar na indicação):
 - ➡ $C = m_{\text{ref}} - \bar{x} = 0.030 \text{ g}$
- ➡ Interpretação: $Td < 0 \rightarrow$ a balança subindica; por isso C é positiva.

Massa do diamante (corrigida) e incerteza (t)

- ➡ Adotando uma indicação para o diamante: $m_{\text{ind}} = 1.250 \text{ g}$
- ➡ Correção: $C = 0.030 \text{ g}$
- ➡ Massa corrigida:
 - ➡ $m = m_{\text{ind}} + C = 1.250 + 0.030 = 1.280 \text{ g}$
- ➡ Incerteza (95%) da média da calibração (t de Student):
 - ➡ $u(\bar{x}) = s/\sqrt{n} = 0.0022 \text{ g}$
 - ➡ $U = t \cdot u(\bar{x}) = 2.571 \cdot 0.0022 = 0.0056 \text{ g}$
- ➡ Resultado ($\approx 95\%$):
 - ➡ $m = (1.280 \pm 0.006) \text{ g}$

EP Ri14 – Metrologia

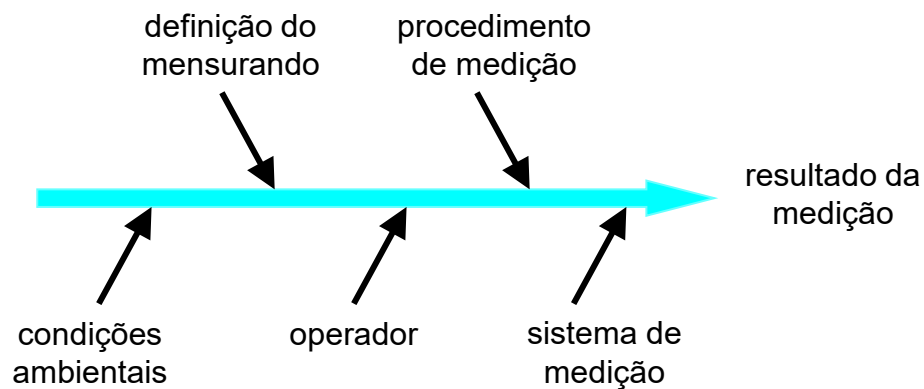
08

Medição direta





Motivação



Como usar as informações disponíveis sobre o processo de medição e escrever corretamente o resultado da medição?

$$RM = (RB \pm IM) \text{ unidade}$$



Medições Diretas e Indiretas



Medições direta

- O sistema de medição já indica naturalmente o valor do mensurando.
 - Exemplos:
 - Medição do diâmetro de um eixo com um paquímetro.
 - Medição da tensão elétrica de uma pilha com um voltímetro.



Medições Indireta

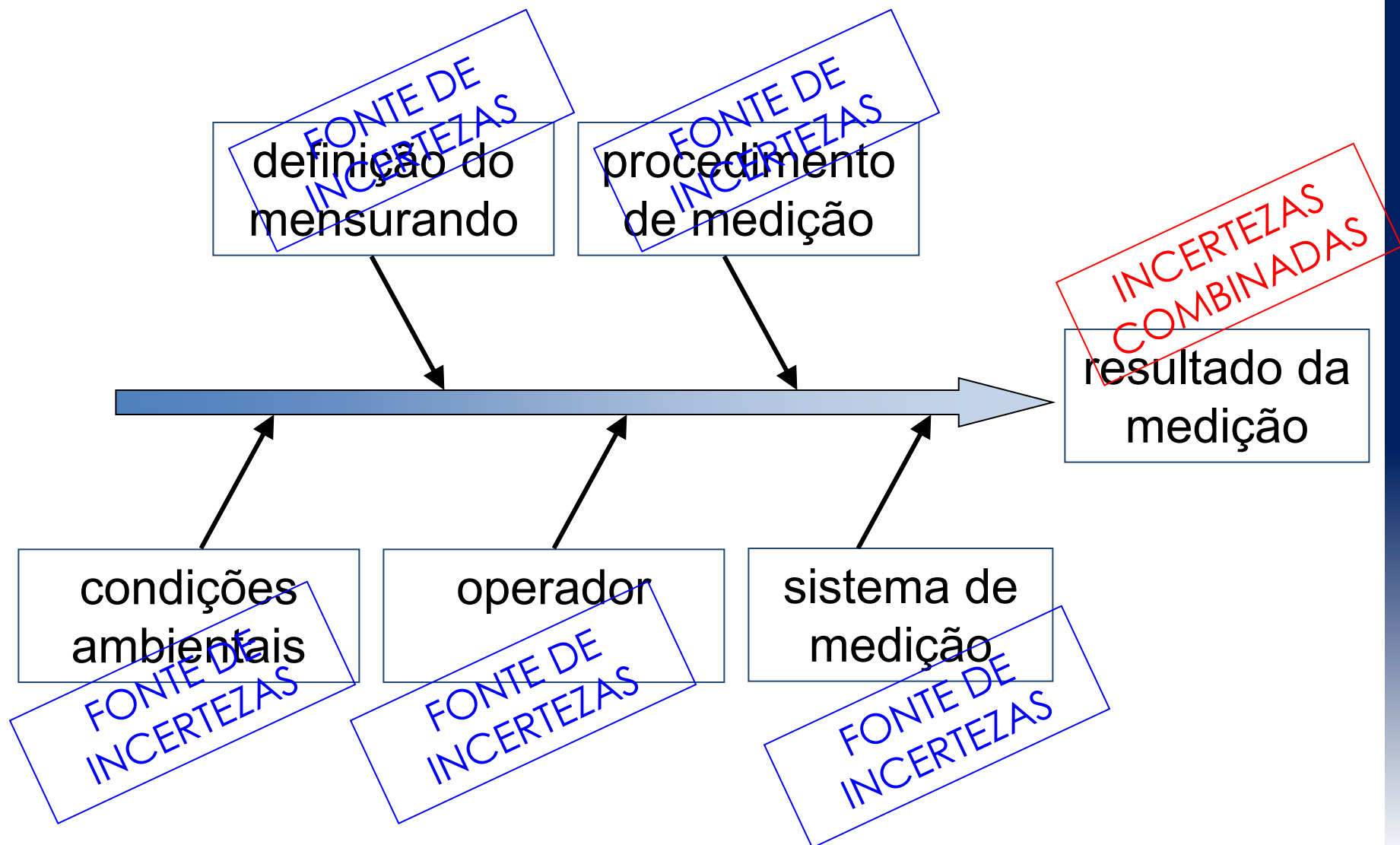
- A grandeza é determinada a partir de operações entre duas ou mais grandezas medidas separadamente.
 - Exemplos:
 - A área de um terreno retangular multiplicando largura pelo comprimento.
 - Medição da velocidade média de um automóvel dividindo a distância percorrida pelo tempo correspondente.



Caracterização do processo de medição



Processo de medição





A variabilidade do Mensurando

O que é Variabilidade do Mensurando?

- ➡ É a variação natural do valor da grandeza medida.
- ➡ Pode decorrer do próprio fenômeno físico.
- ➡ Não deve ser confundida com erro do sistema de medição.

- ➡ Valor permanece constante durante a medição.
- ➡ Modelo: $RM = I + C \pm Re$
- ➡ RM = Resultado da Medição
- ➡ I = Indicação do instrumento
- ➡ C = Correção sistemática
- ➡ Re = Repetitividade combinada (erros aleatórios)

Mensurando Variável

- ➡ Valor varia com tempo, posição ou condições externas.
- ➡ Modelo: $RM = \bar{x} + C \pm k \cdot u$
- ➡ RM = Resultado da Medição
- ➡ $\bar{x}$ = Média das medições
- ➡ C = Correção sistemática
- ➡ k = Fator de abrangência
- ➡ u = Incerteza padrão
- ➡ $k \cdot u$ = Incerteza expandida

- ➡ Se invariável: dispersão vem do sistema de medição.
- ➡ Se variável: dispersão pode refletir o fenômeno físico.
- ➡ O resultado deve sempre incluir a incerteza.



Variabilidade do mensurando

■ Invariável

- se seu valor permanece constante durante o período em que a medição é efetuada.
 - Exemplo: a massa de uma jóia.

■ Variável

- quando o seu valor não é único ou bem definido. Seu valor pode variar em função da posição, do tempo ou de outros fatores.
 - Exemplo: a temperatura ambiente.



O resultado da medição de um
mensurando invariável quando a
incerteza e correção combinadas
são conhecidas



Incertezas combinadas

- A repetitividade combinada corresponde à contribuição resultante de todas as fontes de erros aleatórios que agem simultaneamente no processo de medição.
- A correção combinada compensa os erros sistemáticos de todas as fontes de erros que agem simultaneamente no processo de medição.



Estimativa da repetitividade (Re) (Relembrando...)

(para 95,45 % de probabilidade)

A repetitividade define a faixa dentro da qual, para uma dada probabilidade, o erro aleatório é esperado.

Para amostras infinitas:

$$Re = 2 \cdot \sigma$$

Para amostras finitas:

$$Re = t \cdot u$$

Sendo “t” o coeficiente de Student para $\nu = n - 1$ graus de liberdade.

n = é o tamanho da amostra; σ = desvio padrão; u = incerteza padrão.



Coeficiente “t” de Student (Relembrando...)

$v = n - 1$ graus de liberdade.

n = é o tamanho da amostra

v	t	v	t	v	t	v	t
1	13,968	10	2,284	19	2,140	80	2,032
2	4,527	11	2,255	20	2,133	90	2,028
3	3,307	12	2,231	25	2,105	100	2,025
4	2,869	13	2,212	30	2,087	150	2,017
5	2,649	14	2,195	35	2,074	200	2,013
6	2,517	15	2,181	40	2,064	1000	2,003
7	2,429	16	2,169	50	2,051	10000	2,000
8	2,366	17	2,158	60	2,043	100000	2,000
9	2,320	18	2,149	70	2,036	∞	2,000



Exemplo de estimativa da repetitividade (*Re*) (Relembrando...)

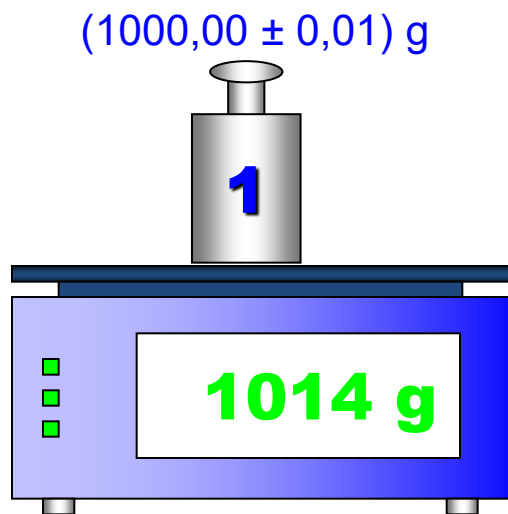
u = incerteza padrão.

$\nu = n - 1$ graus de liberdade.

t = coeficiente de Student.

***Re* = Repetitividade.**

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$



1014 g
1015 g
1017 g
1012 g
1015 g
1018 g
1014 g
1015 g
1016 g
1013 g
1016 g
1015 g

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - 1015)^2}{12 - 1}}$$

$n = 12$ (n° de medidas)

$u = 1,65$ g

$\nu = 12 - 1 = 11$

$t = 2,255$

***Re* = 2,255 . 1,65**

***Re* = 3,72 g**

Média $\bar{I}$: 1015 g



Exemplo de estimativa da repetitividade (*Re*) (Relembrando...)

u = incerteza padrão.

t = coeficiente de Student.

$\nu = n - 1$ graus de liberdade.

Re = Repetitividade.

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - 1015)^2}{12 - 1}}$$

$n = 12$ (n° de medidas)

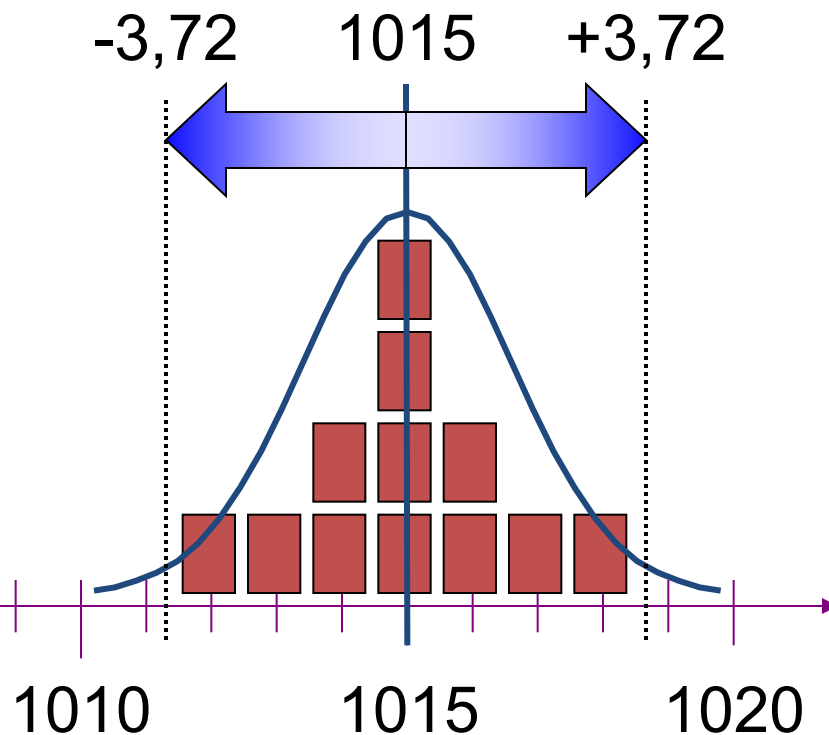
$u = 1,65$ g

$\nu = 12 - 1 = 11$

$t = 2,255$

$Re = 2,255 \cdot 1,65$

$Re = 3,72$ g





Três casos

Caso
1

Caso
2

Caso
3

Número n de medições repetidas:

$n = 1$

$n > 1$

$n \geq 1$

Compensa erros sistemáticos:

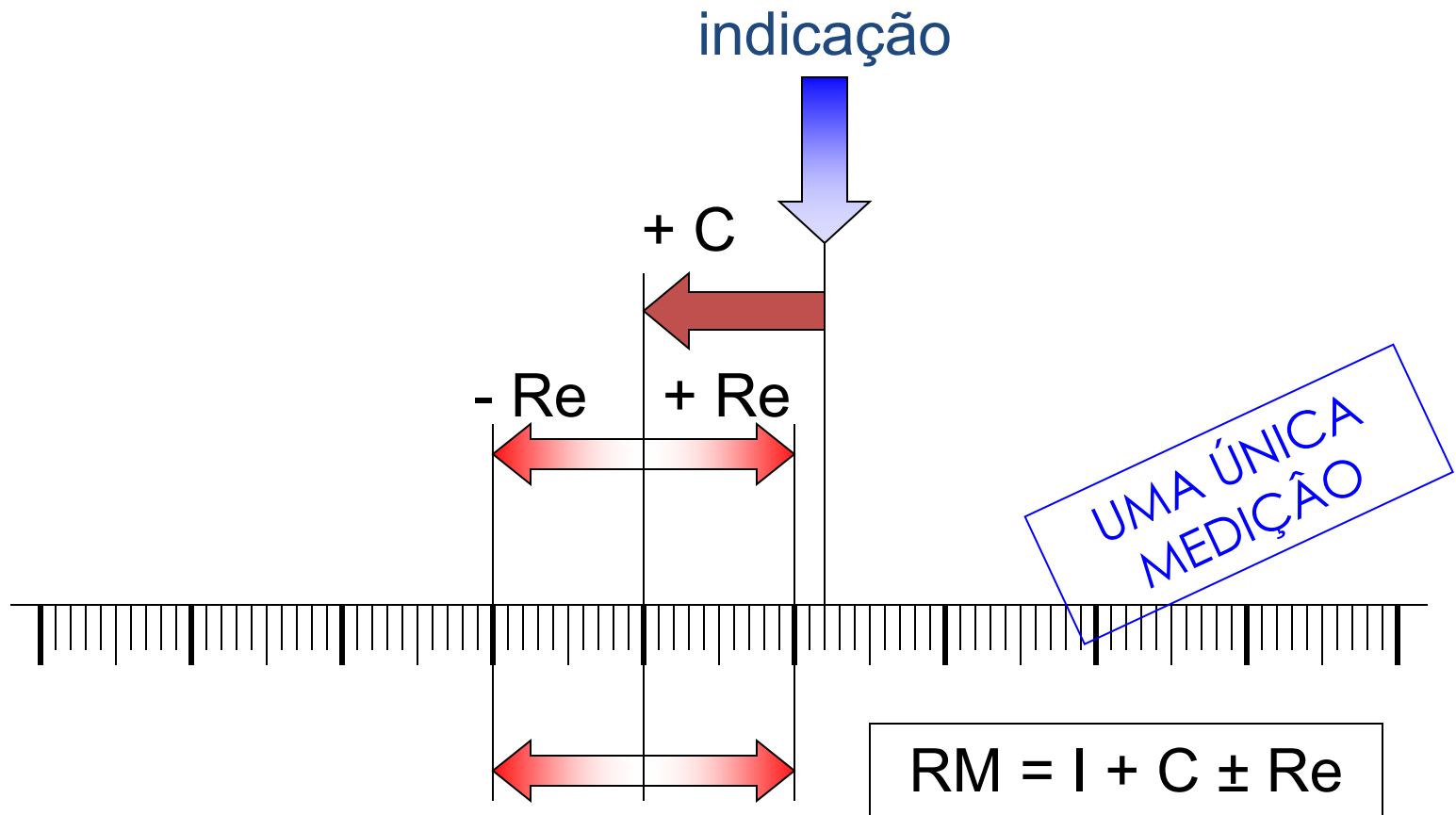
sim

sim

não

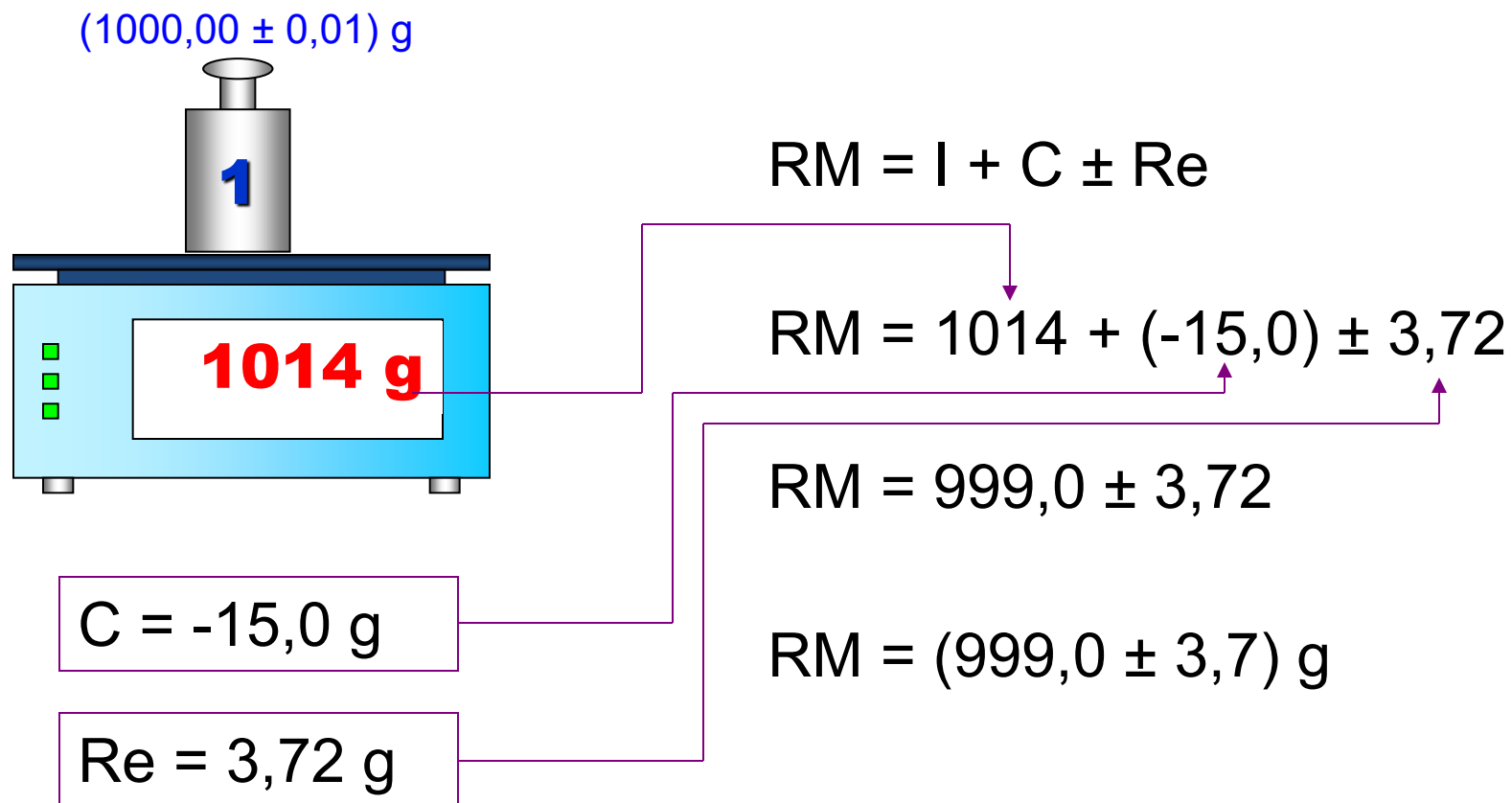


Caso 1



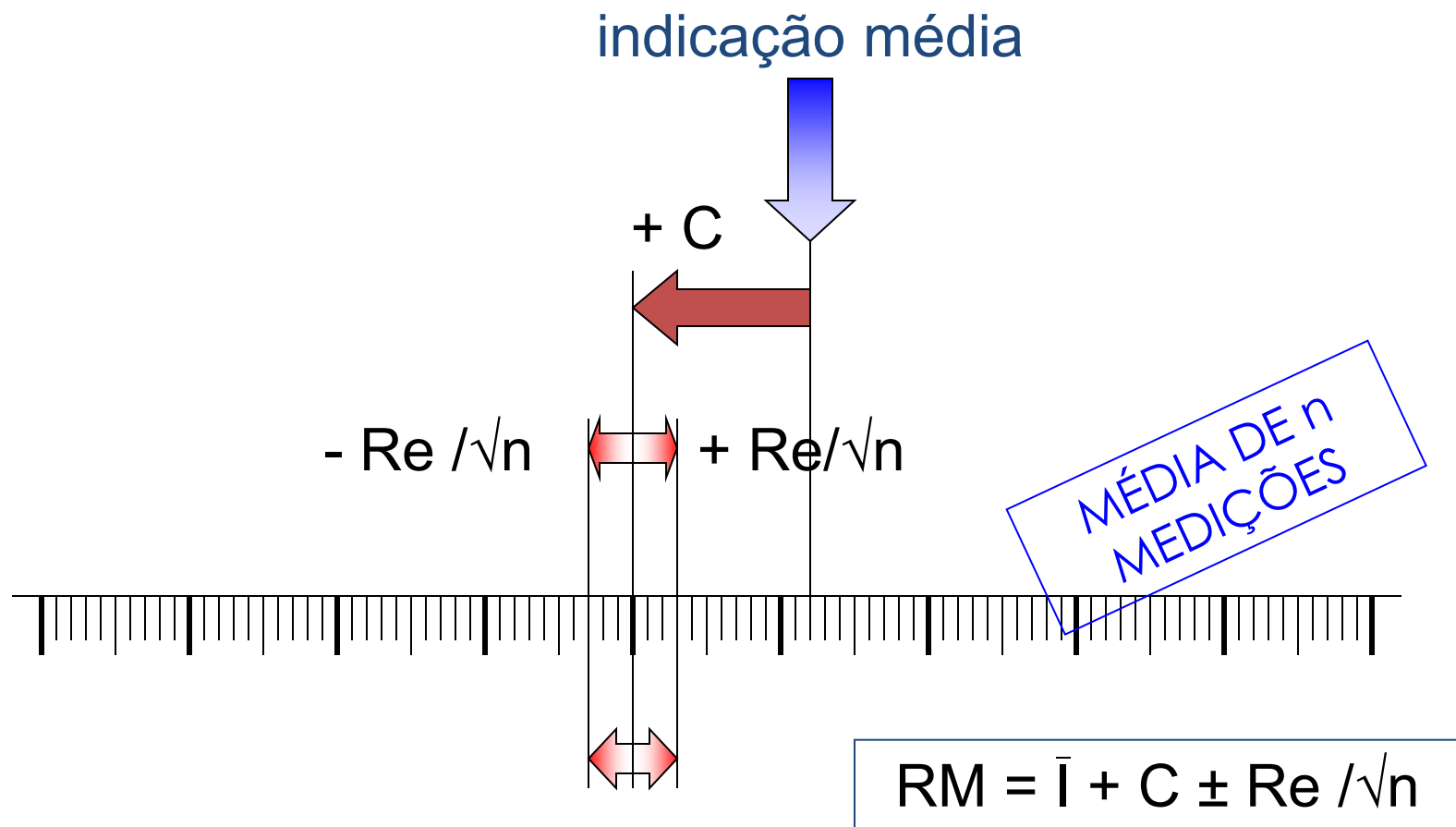


Caso 1 - Exemplo



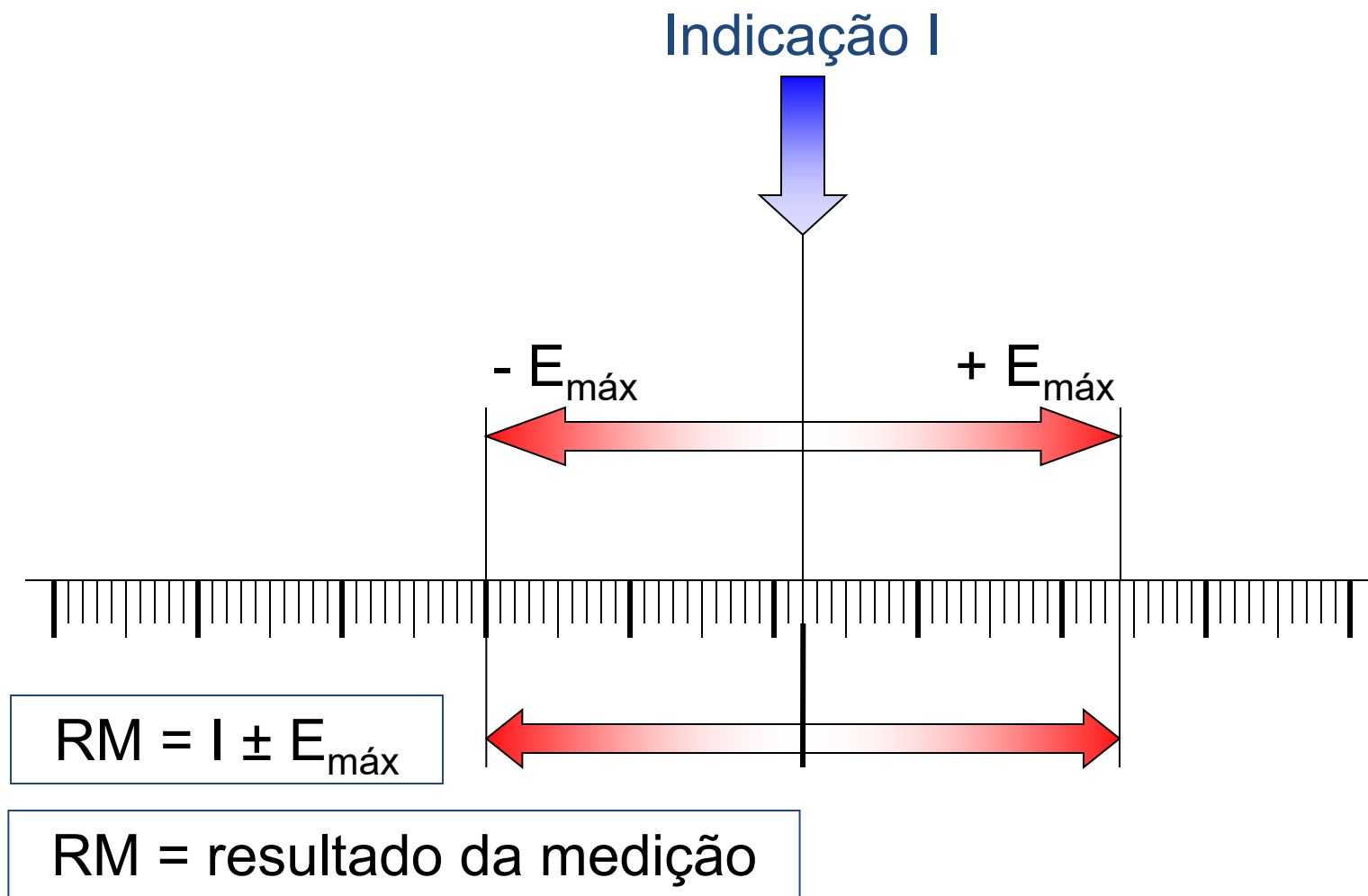


Caso 2



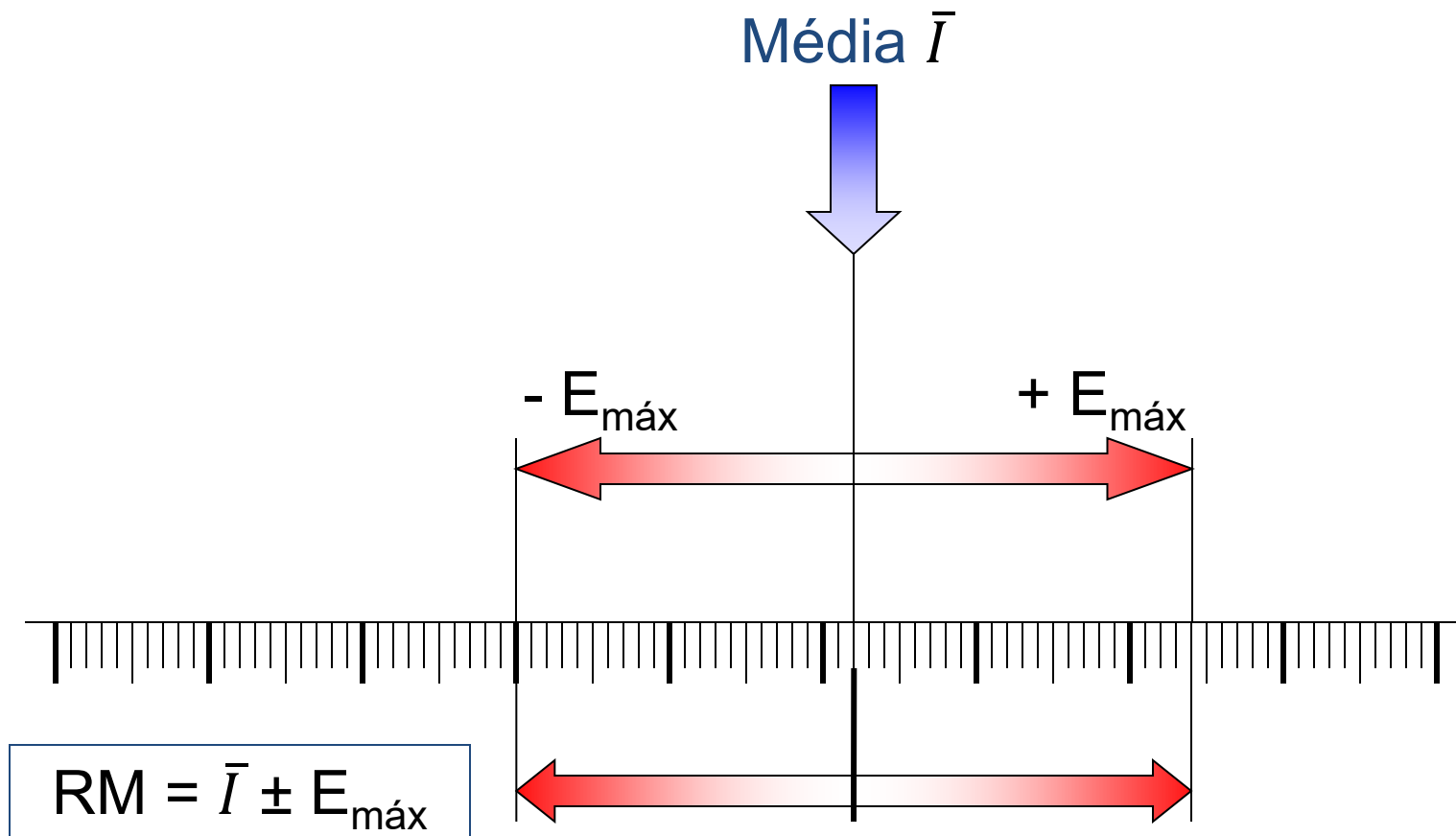


Caso 3 - Erro máximo ($E_{\text{máx}}$) conhecido - mensurando invariável



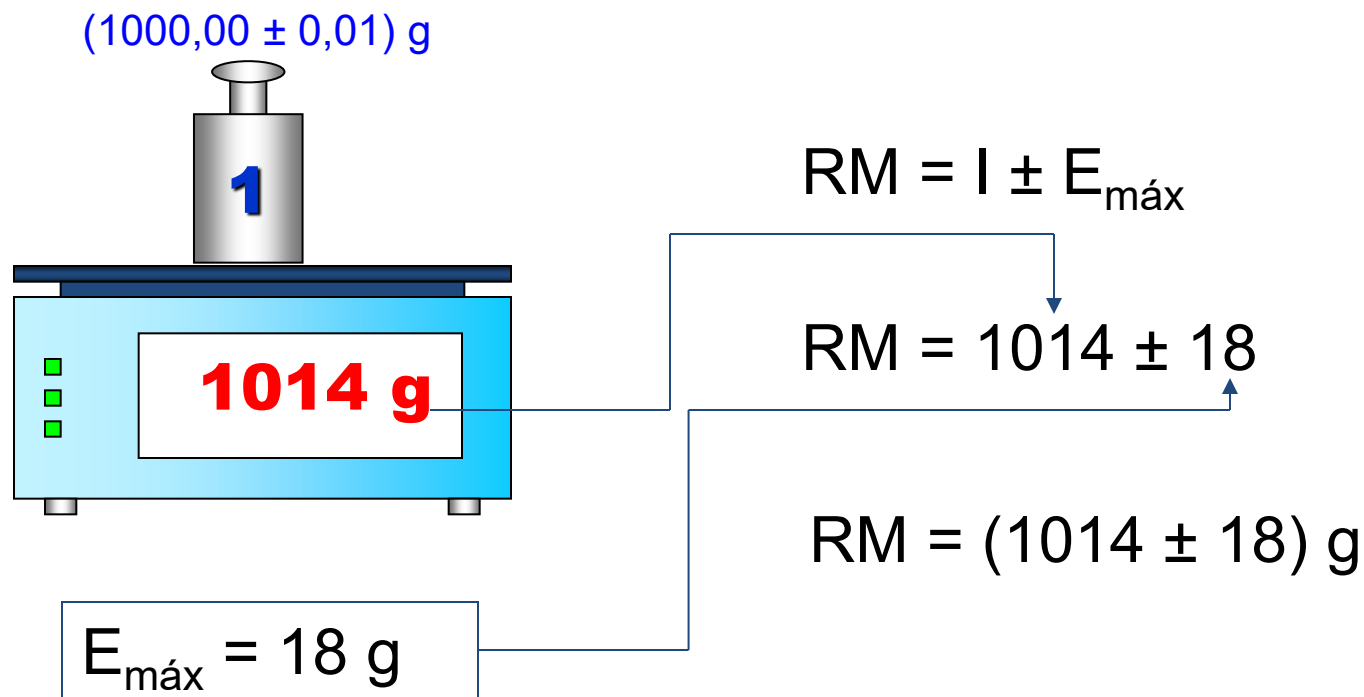


Caso 3 - Erro máximo ($E_{\text{máx}}$) conhecido - mensurando invariável



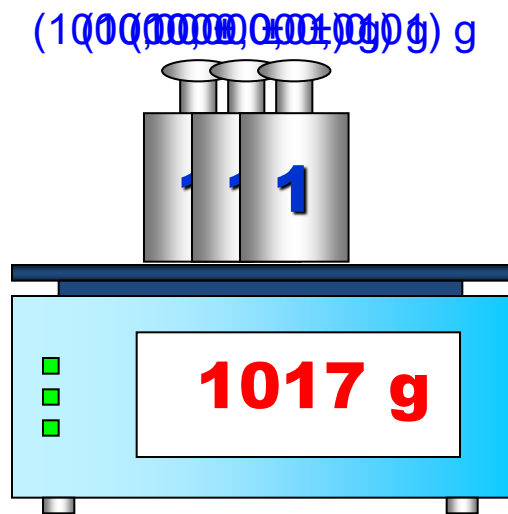


Caso 3 – Exemplo 1





Caso 3 – Exemplo 2



$$E_{\text{máx}} = 18 \text{ g}$$

1014 g
1015 g
1017 g
1012 g
1015 g
1018 g
1014 g
1015 g
1016 g
1013 g
1016 g
1015 g

$$\bar{I} = 1015 \text{ g}$$

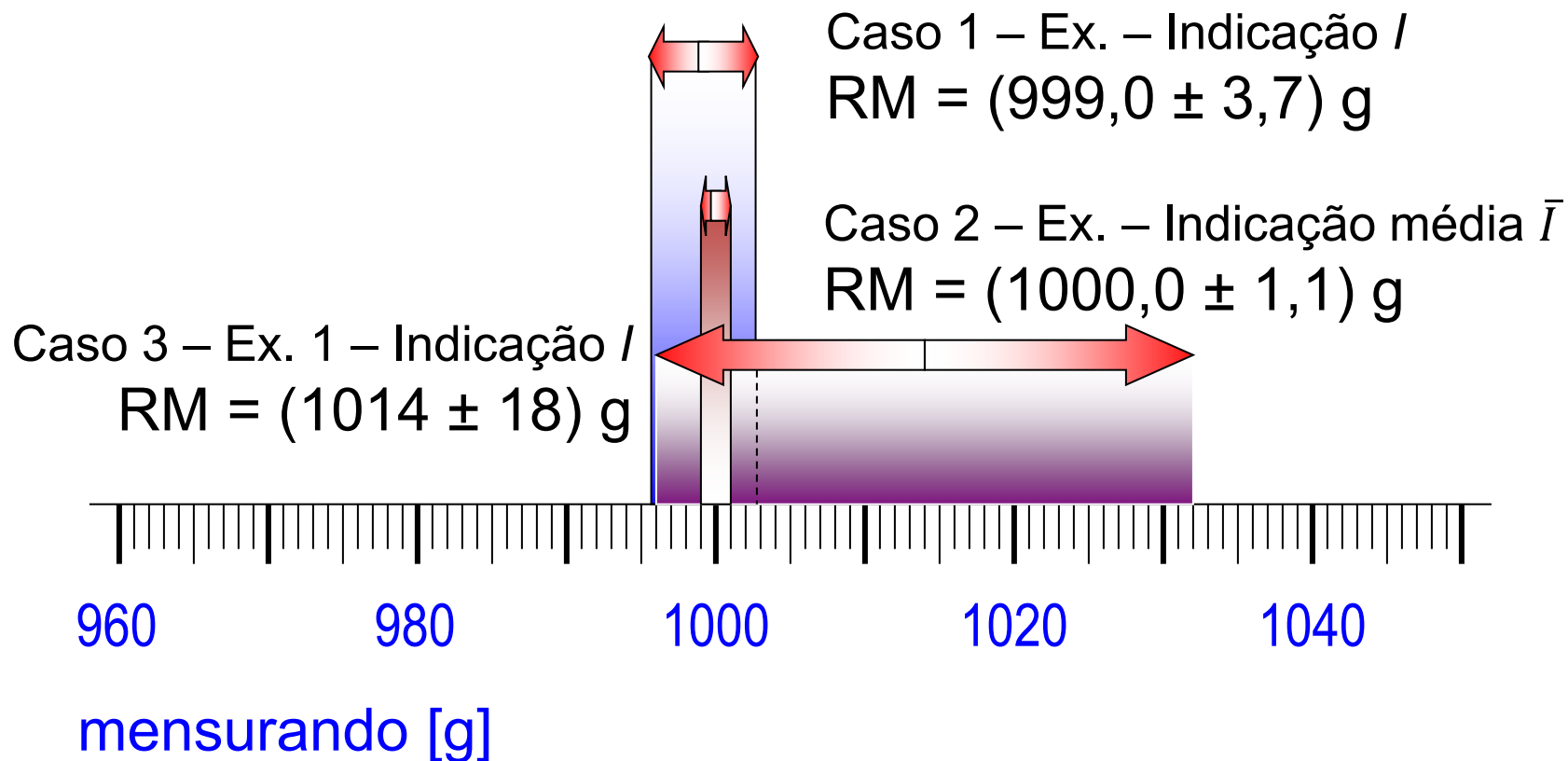
$$RM = \bar{I} + E_{\text{máx}}$$

$$RM = 1015 \pm 18$$

$$RM = (1015 \pm 18) \text{ g}$$



Representação gráfica dos três resultados





A Grafia Correta do Resultado da Medição (RM)



Algarismos Significativos (AS)

➡ Exemplos:

- ➡ 12 tem dois AS
- ➡ 1,2 tem dois AS
- ➡ 0,012 tem dois AS
- ➡ 0,000012 tem dois AS
- ➡ 0,01200 tem quatro AS

➡ Número de AS:

- ➡ conta-se da esquerda para a direita a partir do primeiro algarismo não nulo



Regras de Grafia

■ Regra 1:

- A incerteza da medição é escrita com até dois algarismos significativos.

■ Regra 2:

- O resultado base é escrito com o mesmo número de casas decimais com que é escrita a incerteza da medição.



Arredondamento

- Para arredondar 0,3906 para duas casas
- Se a última casa for 6, 7, 8 ou 9, soma-se uma unidade na casa anterior, ou seja:

0,391

- Se a última casa for 0, 1, 2, 3 ou 4, mantém o valor da última casa, como:

0,39

- Se na última casa tivermos o valor 5?
- Supondo termos 12,305 e neste caso e a penúltima casa, em **vermelho**, for par (no caso é **0**), elimina-se o último dígito, assim teremos:

12,30

- **Exemplos de arredondamento para apenas 1 casa:**

- a) 5,35687 -> 5,3569 -> 5,357 -> 5,36 -> 5,4
- b) 123,355 -> (a penúltima casa é **5**, em **vermelho**, logo aumenta a penúltima casa em uma unidade) -> 123,36 -> 123,4

- **Exemplos de arredondamento para 3 casas, supondo este resultado obtido na HP/Casio:**

- 123,35571126980342 -> 123,3557 -> 123,356

Olha daqui para cá!



A grafia do resultado da medição (RM)

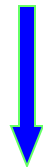
Exemplo 1:

$$RM = (319,213 \pm 11,4) \text{ mm}$$



REGRA 1

$$RM = (319,213 \pm 11) \text{ mm}$$



REGRA 2

$$RM = (319 \pm 11) \text{ mm}$$



A grafia do resultado da medição (RM)

Exemplo 2:

$$RM = (18,4217423 \pm 0,04280437) \text{ mm}$$

REGRA 1

$$RM = (18,4217423 \pm 0,043) \text{ mm}$$

REGRA 2

$$RM = (18,422 \pm 0,043) \text{ mm}$$

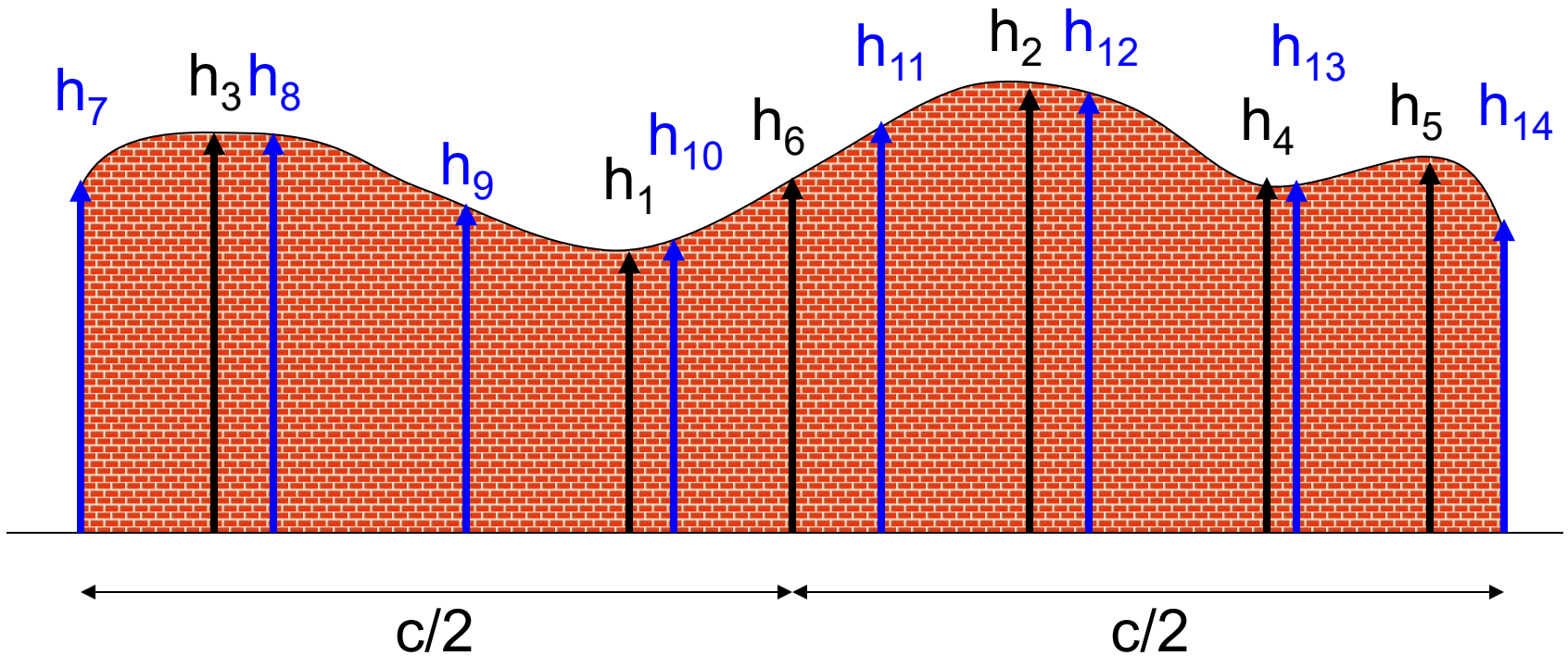


O resultado da medição (RM) de
um mensurando variável quando
a incerteza e correção
combinadas são conhecidas



Qual a altura do muro?

$h = \text{m\u00e9dia entre } h_7 \text{ a } h_{14}?$

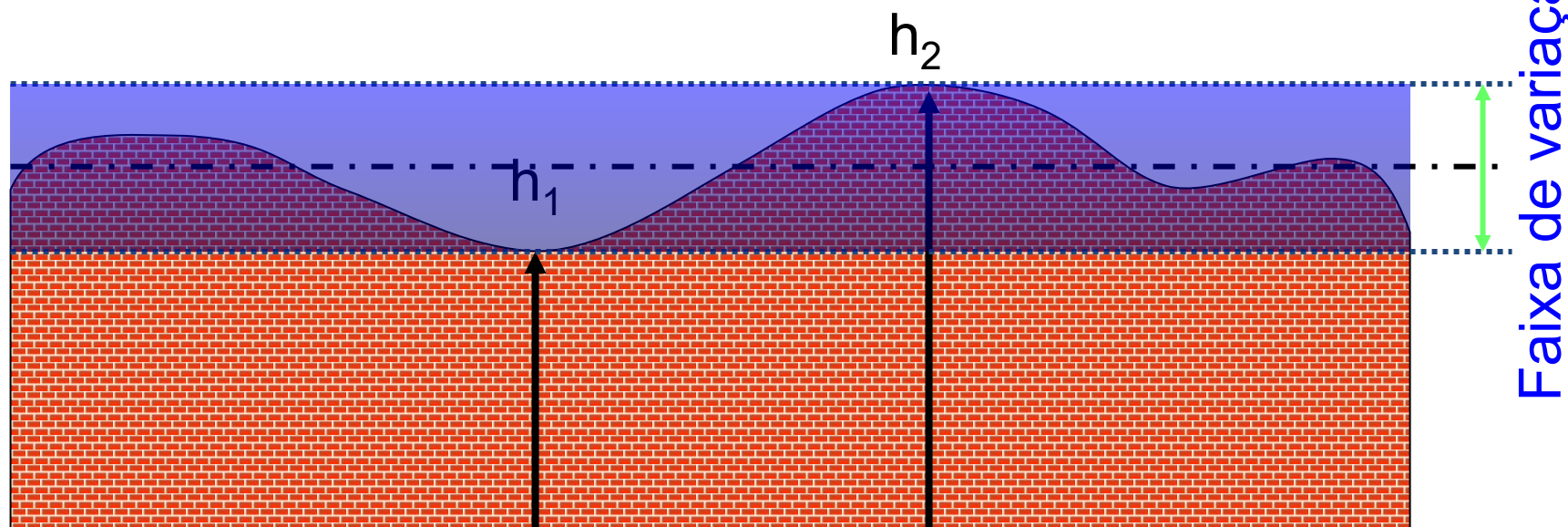


Qual seria uma resposta honesta?



Respostas honestas:

Varia entre um mínimo de h_1 e um máximo de h_2 .



A faixa de variação de um mensurando variável deve fazer parte do resultado da medição.



Medição de mensurando variável

- Deve sempre ser medido **muitas** vezes, em locais e/ou momentos distintos, para que aumentem as chances de que toda a sua **faixa de variação** seja **varrida**.



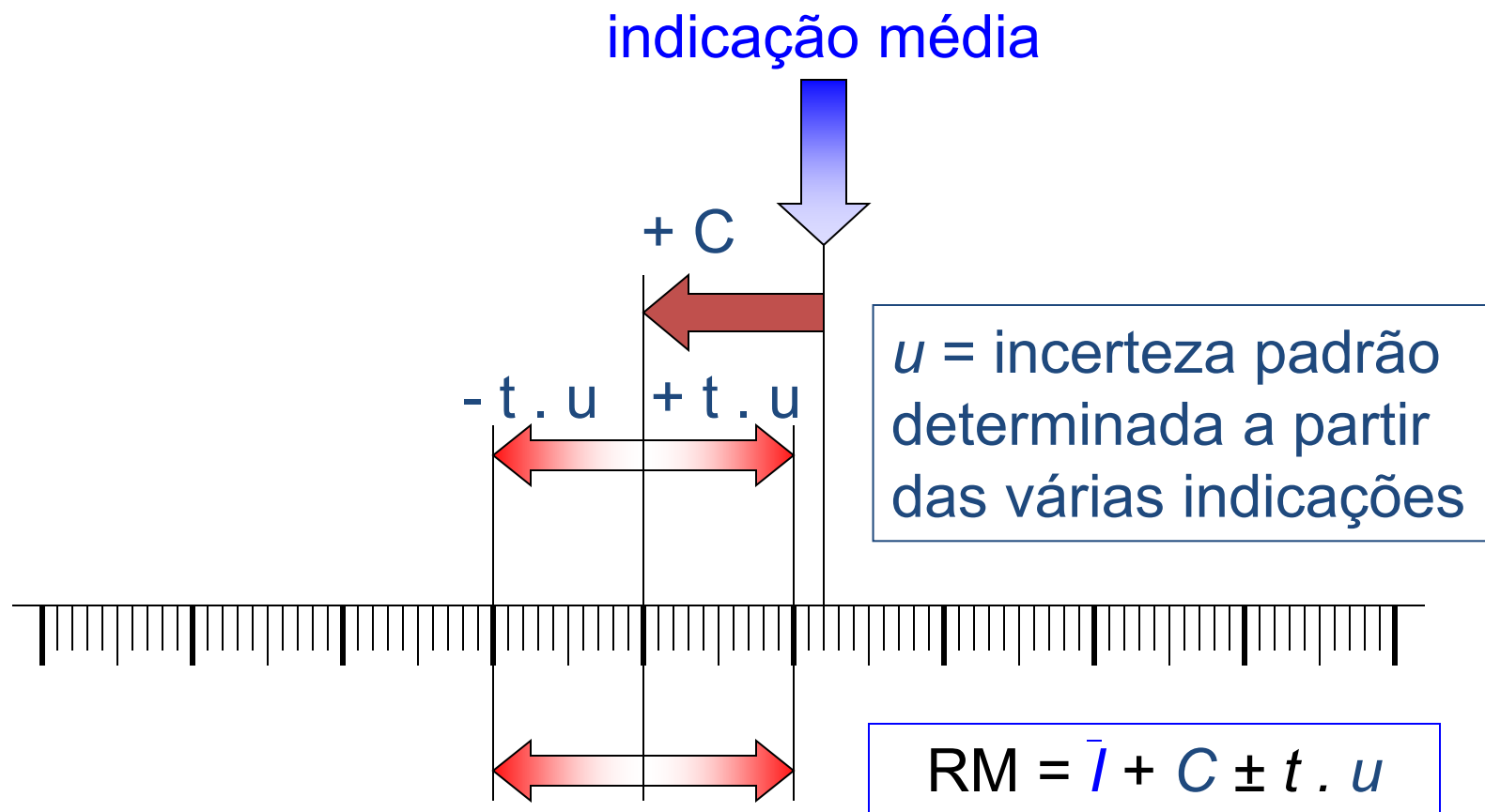
Mensurando variável

$$n > 1$$

Corrigindo erros sistemáticos



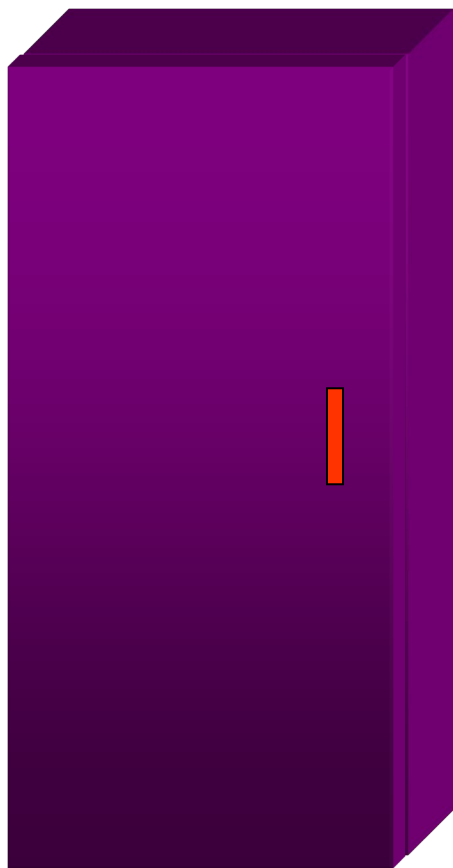
Caso 4



Para amostras finitas: $Re = t . U$,
onde Re é a **repetitividade**



Caso 4 - Exemplo Temperatura no refrigerador



Dos 480 pontos medidos, foi calculada a média $\bar{I}$ e incerteza padrão u :

$$\bar{I} = 5,82^{\circ}\text{C}$$

$$u = 1,90^{\circ}\text{C}$$

Correção definida pelo fabricante:

$$C = - 0,80^{\circ}\text{C}$$



Caso 4 - Exemplo

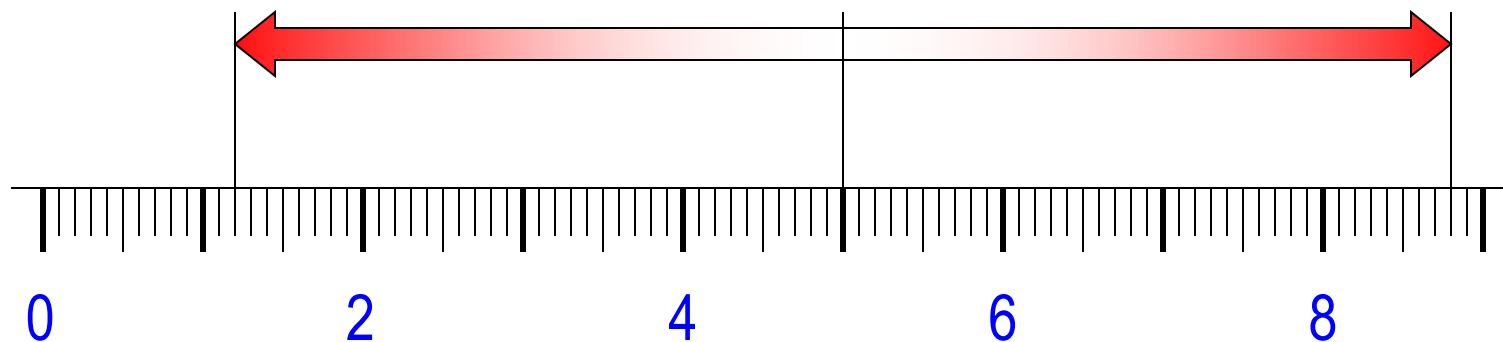
Temperatura no refrigerador

$$RM = \bar{I} + C \pm t \cdot u$$

$$RM = 5,82 + (-0,80) \pm 2,00 \cdot 1,90$$

$$RM = 5,02 \pm 3,80$$

$$RM = (5,0 \pm 3,8)^{\circ}\text{C}$$





Mensurando variável

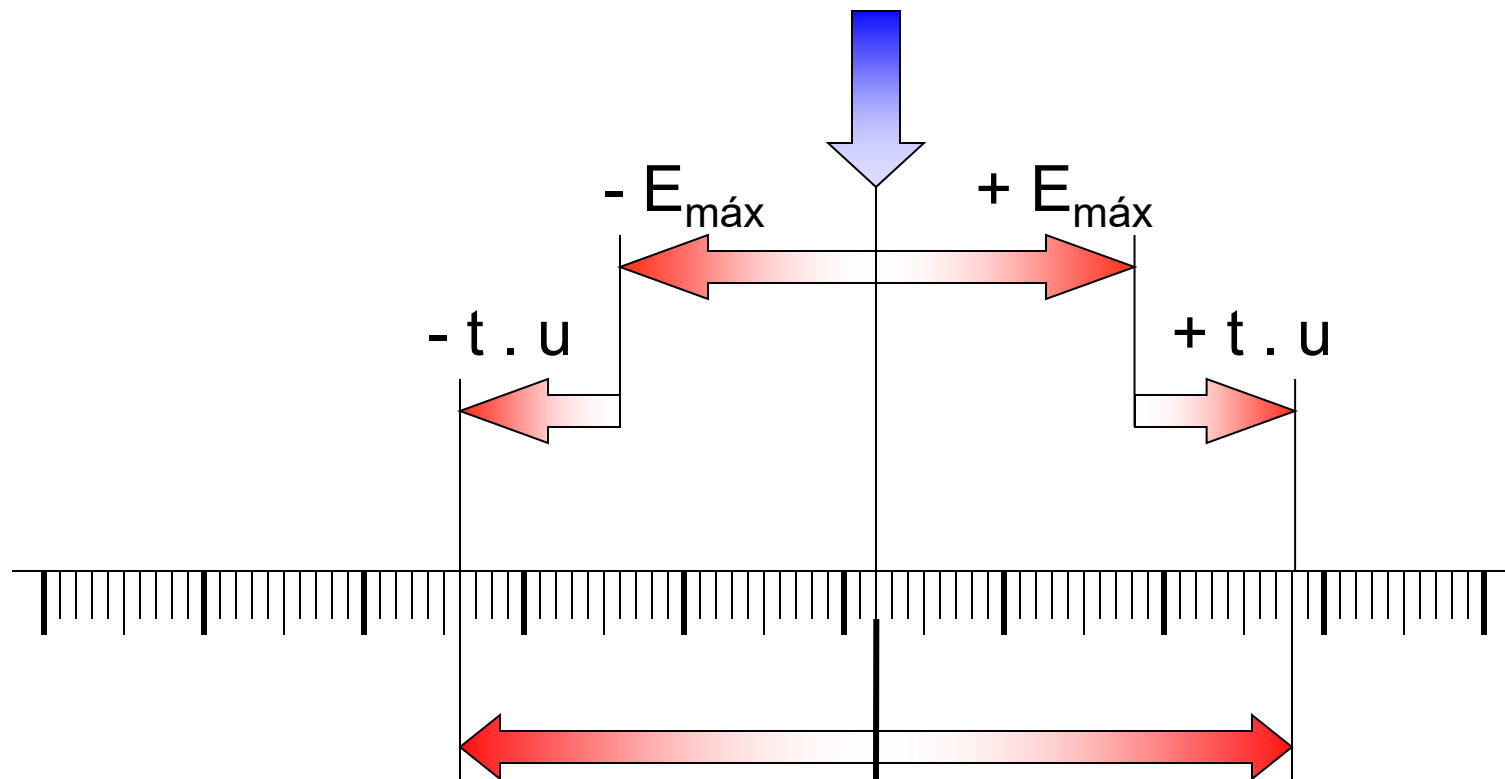
$$n > 1$$

Não corrigindo erros sistemáticos



Caso 5 - Erro máximo conhecido e mensurando variável

indicação média



$$RM = \bar{I} \pm (E_{\text{máx}} + t \cdot u)$$



Caso 5 - Exemplo Velocidade do vento



A velocidade do vento foi medida durante 10 minutos uma vez a cada 10 segundos.

Dos 60 pontos medidos, foi calculada a média $\bar{I}$ e a incerteza padrão u :

$$E_{\text{máx}} = 0,20 \text{ m/s}$$

$$\bar{I} = 15,8 \text{ m/s}$$

$$u = 1,9 \text{ m/s}$$

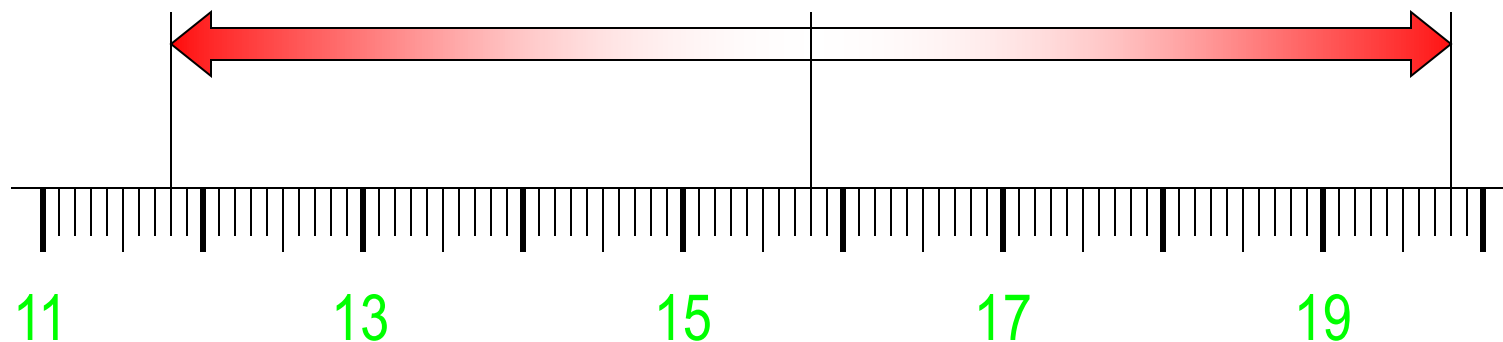


Caso 5 - Exemplo Velocidade do vento

$$RM = \bar{I} \pm (E_{\text{máx}} + t \cdot u)$$

$$RM = 15,8 \pm (0,2 + 2,0 \cdot 1,9)$$

$$RM = (15,8 \pm 4,0) \text{ m/s}$$



EPRI14 – Metrologia

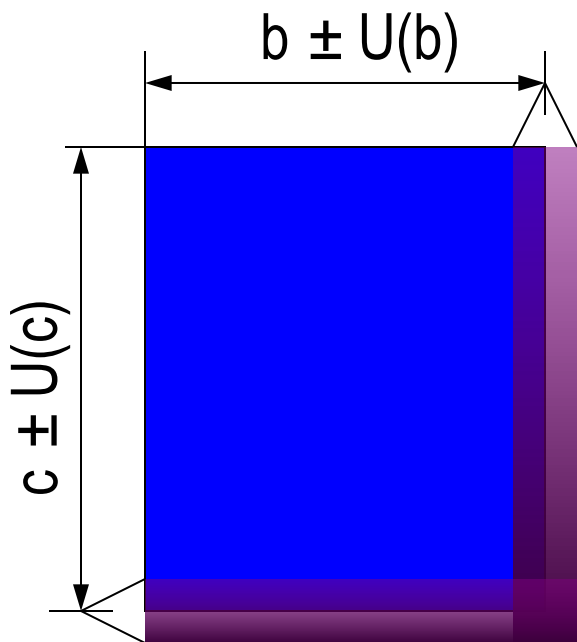
09

Medição indireta





Motivação – Cálculo da Incerteza (U)



- **Como estimar a incerteza (U) do valor de uma grandeza que é calculada a partir de operações matemáticas com os resultados de outras grandezas medidas?**

$$A = b \cdot c$$

$$U(A) = ?$$



Considerações Preliminares



Medições indireta

- O valor do mensurando é determinado a partir de operações matemáticas envolvendo resultados de duas ou mais grandezas de entrada medidas separadamente.
- Exemplos:
 - A área (A) de um terreno calculada pelo produto entre sua largura (L) pelo seu comprimento (C).
$$A = L \cdot C$$
 - Determinação da corrente elétrica (I) dividindo a queda de tensão (V) sobre um resistor pelo valor da sua resistência (R). $I = \frac{V}{R}$



O modelo matemático

- É necessário um modelo matemático que relacione as grandezas de entrada com o valor do mensurando.
- Exemplos:
 - $A = b \cdot h$ (Área = base vezes altura)
 - $V = d / t$ (Velocidade = distância dividida pelo tempo)

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$



Dependência estatística & correlação

- **Duas variáveis aleatórias são consideradas estatisticamente independentes ou não correlacionadas se as variações aleatórias da primeira não guardam nenhum tipo de sincronismo com as da segunda.**
- **Exemplo:**
 - **a temperatura da água do mar na praia da Joaquina e a cotação do dólar.**



Dependência estatística

- Duas variáveis aleatórias são consideradas estatisticamente dependentes ou correlacionadas se as variações aleatórias da primeira ocorrem de forma sincronizada com as variações aleatórias da segunda.
- Exemplos:
 - Os valores em Real da cotação do Euro e do Dólar (na verdade quem mais muda é o Real).
 - A temperatura da água do mar em duas praias próximas.



Dependência estatística

- A grande maioria dos casos de interesse prático da engenharia é suficientemente bem modelada considerando medições como variáveis aleatórias independentes ou não correlacionadas.



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Relembrando...

- as variações aleatórias da primeira não guardam nenhum tipo de sincronismo com as da segunda.
- Exemplo:
 - a temperatura da água do mar na praia da Joaquina e a cotação do dólar.



Adição e subtração de MNC (Medições não Correlacionadas)

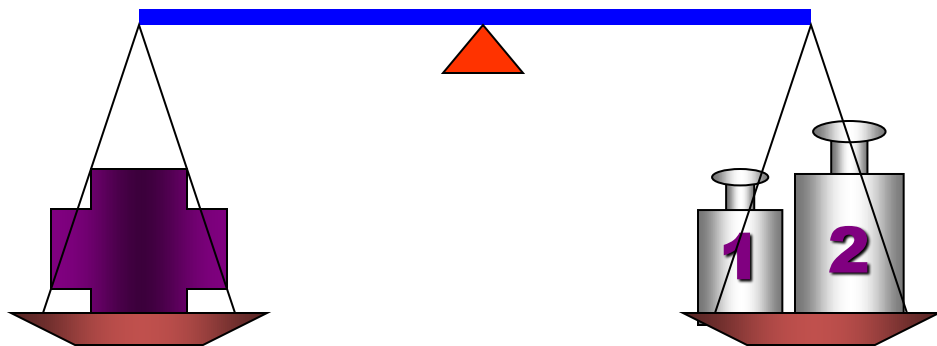
- O quadrado da incerteza (u) combinada da adição ou subtração de MNC é calculado pela soma dos quadrados das incertezas padrão de cada termo:

$$[u(X_1 \pm X_2 \pm \dots \pm X_n)]^2 = [u(X_1)]^2 + [u(X_2)]^2 + \dots + [u(X_n)]^2$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Exemplo 1: Adição de MNC (Medições não Correlacionadas)



$$m_T = m_1 + m_2$$

MNC

$$[U(m_T)]^2 = [U(m_1)]^2 + [U(m_2)]^2$$

$$[U(m_T)]^2 = [6]^2 + [8]^2 = 100$$

$$U(m_T) = 10 \text{ g}$$

$$m_T = (3000 \pm 10) \text{ g}$$

$$m_1 = (1000 \pm 6) \text{ g}$$

$$m_2 = (2000 \pm 8) \text{ g}$$

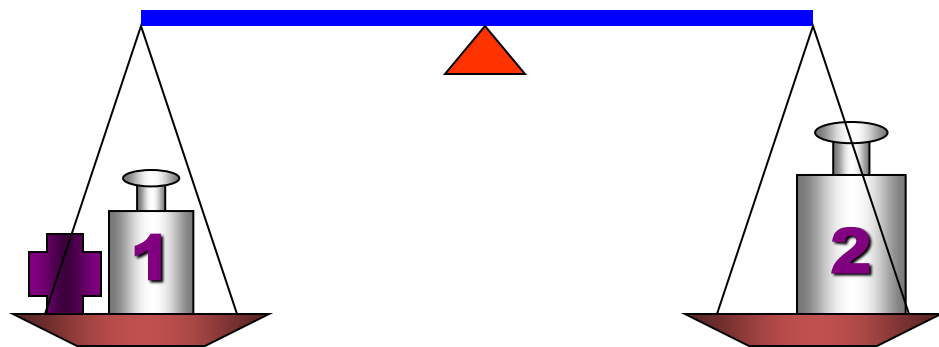
$$U(m_1) = 6 \text{ g}$$

$$U(m_2) = 8 \text{ g}$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Exemplo 2: Subtração de MNC (Medições não Correlacionadas)



$$m_c = m_2 - m_1$$

MNC

$$[U(m_c)]^2 = [U(m_1)]^2 + [U(m_2)]^2$$

$$[u(m_c)]^2 = [6]^2 + [8]^2 = 100$$

$$U(m_c) = 10 \text{ g}$$

$$m_1 = (1000 \pm 6) \text{ g}$$

$$m_2 = (2000 \pm 8) \text{ g}$$

$$m_c + m_1 = m_2$$

$$m_c = (1000 \pm 10) \text{ g}$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Multiplicação de MNC (Medições não Correlacionadas)

- Na multiplicação de MNC o quadrado da incerteza combinada relativa é calculado pela soma dos quadrados das incertezas padrão relativas de cada fator:

$$\left[\frac{u(X_1 \cdot X_2)}{X_1 \cdot X_2} \right]^2 = \left[\frac{u(X_1)}{X_1} \right]^2 + \left[\frac{u(X_2)}{X_2} \right]^2$$

$$u_R^2(X_1 \cdot X_2) = u_R^2(X_1) + u_R^2(X_2)$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Multiplicação de MNC (Medições não Correlacionadas)

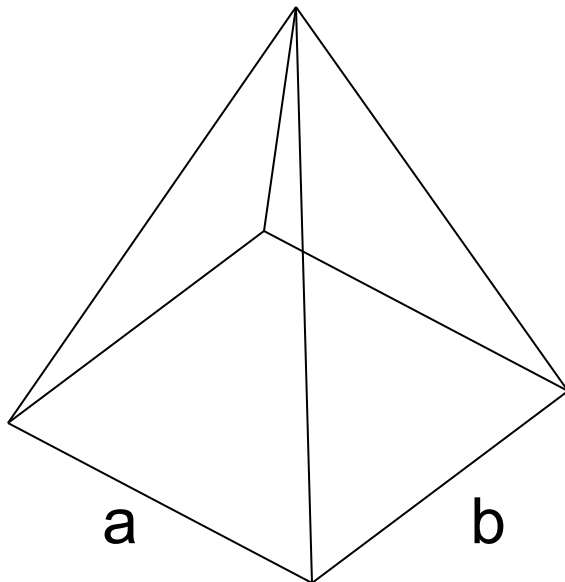
■ Generalizando:

$$u_R^2(X_1^{\pm 1} \cdot X_2^{\pm 1} \cdots X_n^{\pm 1}) = u_R^2(X_1) + u_R^2(X_2) + \cdots + u_R^2(X_n)$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Exemplo 3: Multiplicação



$$V = \frac{a \cdot b \cdot h}{3}$$

Determine o volume de uma pirâmide com base retangular, cujas dimensões estão especificadas na figura, e altura

$$h = (200,0 \pm 1,0) \text{ mm.}$$

$$a = (100,0 \pm 0,8) \text{ mm}$$

$$b = (90,0 \pm 0,6) \text{ mm}$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Exemplo 3: Multiplicação

Cálculo do volume:

$$\begin{aligned} h &= (200,0 \pm 1,0) \text{ mm} & b &= (90,0 \pm 0,6) \text{ mm} \\ a &= (100,0 \pm 0,8) \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V = \frac{a \cdot b \cdot h}{3} \quad V = \frac{100 \cdot 90 \cdot 200}{3} = 600000 = 600 \times 10^3 [\text{mm}^3]$$

Incerteza do volume:

$$\left[\frac{U(V)}{V} \right]^2 = \left[\frac{U(a)}{a} \right]^2 + \left[\frac{U(b)}{b} \right]^2 + \left[\frac{U(h)}{h} \right]^2$$

$$\left[\frac{U(V)}{600000} \right]^2 = \left[\frac{0,8}{100} \right]^2 + \left[\frac{0,6}{90} \right]^2 + \left[\frac{1,0}{200} \right]^2$$

$$\left[\frac{U(V)}{600000} \right]^2 = (64 + 44 + 25) \cdot 10^{-6}$$

$$U(V) = 6931 \text{ mm}^3$$

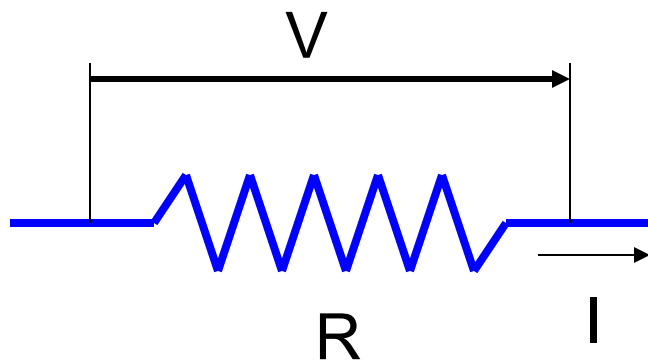


$$V = (600,0 \pm 6,9) 10^3 [\text{mm}^3]$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Exemplo 4: Divisão de MNC



$$I = \frac{V}{R}$$

Determine a corrente elétrica I [A] que passa por um resistor de $(500,0 \pm 1,0)$ [Ω] sobre o qual foi medida uma queda de tensão de $(150,0 \pm 3,0)$ [V].

Incertezas (U) de R e V :

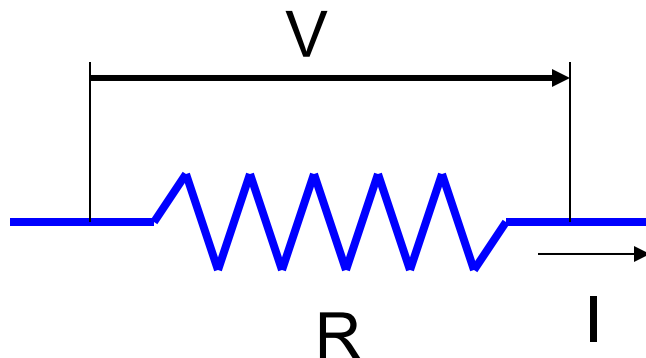
$$U(R) = 1,0 \text{ } [\Omega]$$

$$U(V) = 3,0 \text{ } [V]$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Exemplo 4: Divisão de MNC



$$V = (150,0 \pm 3,0) [\text{V}]$$

$$R = (500,0 \pm 1,0) [\Omega]$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{150}{500} = 0,300 [\text{A}]$$

Incertezas (U):

$$\left[\frac{U(I)}{I} \right]^2 = \left[\frac{U(V)}{V} \right]^2 + \left[\frac{U(R)}{R} \right]^2$$

$$\left[\frac{U(I)}{0,300} \right]^2 = \left[\frac{3,0}{150} \right]^2 + \left[\frac{1,0}{500} \right]^2$$

$$\left[\frac{U(I)}{0,300} \right]^2 = 0,0004 + 0,000004$$

$$U(I) = 0,0060 [\text{A}]$$

$$I = (300 \pm 6) [\text{mA}]$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Caso Geral de MNC

$$G = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Incertezas (u):

$$u^2(G) = \left(\frac{\partial f}{\partial X_1} u(X_1) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial X_2} u(X_2) \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n} u(X_n) \right)^2$$

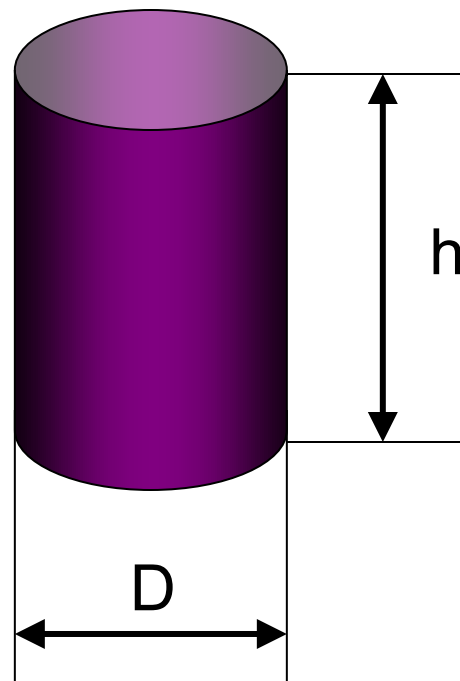
$\frac{\partial f}{\partial X_i}$ = coeficiente de sensibilidade

Podem ser calculados analítica ou numericamente



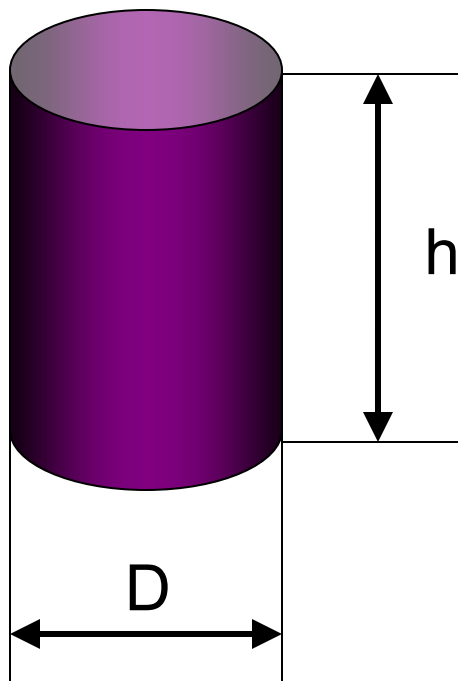
Exemplo: Caso Geral de MNC (Medições não Correlacionadas)

- Na determinação da massa específica (ρ) de um material usou-se um processo indireto, medindo-se em um laboratório, com uma balança, a massa (m) de um cilindro cujo diâmetro (D) e altura (h) foram determinados por um micrômetro e um paquímetro, respectivamente. Após a compensação dos erros sistemáticos, foram encontrados os seguintes resultados:





Medições Realizadas



Para a massa:

$$m = (1580 \pm 20) \text{ g}$$

Para o diâmetro:

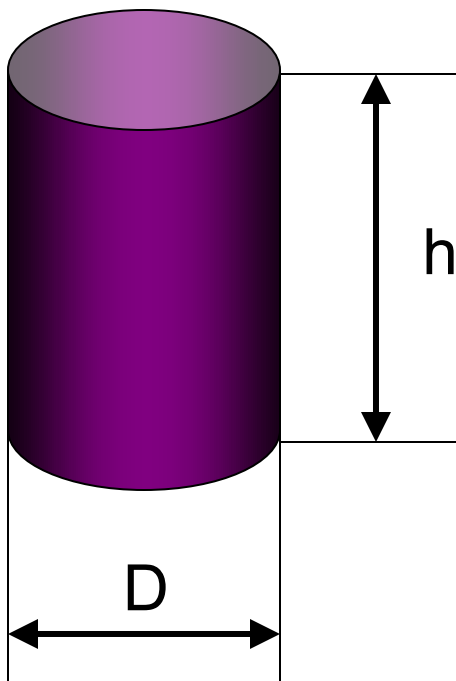
$$D = (25,423 \pm 0,006) \text{ mm}$$

Para a altura:

$$h = (77,35 \pm 0,10) \text{ mm}$$



Massa Específica



Para a massa:

$$m = (1580 \pm 20) \text{ g}$$

Para o diâmetro:

$$D = (25,423 \pm 0,006) \text{ mm}$$

Para a altura:

$$h = (77,35 \pm 0,10) \text{ mm}$$

$$\rho = f(m, D, h)$$

$$\rho = \frac{m}{Vol}$$

$$\rho = \frac{4m}{\pi D^2 h}$$

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4}$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Cálculo da incerteza (U) combinada

$$\rho = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D^2 \cdot h}$$

$$U^2(\rho) = \left(\frac{\partial f}{\partial m} U(m) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial D} U(D) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial h} U(h) \right)^2$$

$$U^2(\rho) = \left(\frac{4}{\pi D^2 h} U(m) \right)^2 + \left(\frac{-8m}{\pi D^3 h} U(D) \right)^2 + \left(\frac{-4m}{\pi D^2 h^2} U(h) \right)^2$$

Dividindo tudo por $\rho = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D^2 \cdot h}$ e simplificando, tem-se:

$$\left(\frac{U(\rho)}{\rho} \right)^2 = \left(\frac{U(m)}{m} \right)^2 + \left(-2 \frac{U(D)}{D} \right)^2 + \left(\frac{-U(h)}{h} \right)^2$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Cálculo da incerteza (U) combinada

$$\left(\frac{U(\rho)}{\rho}\right)^2 = \left(\frac{U(m)}{m}\right)^2 + \left(-2\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{-U(h)}{h}\right)^2$$

$$\left(\frac{U(\rho)}{\rho}\right)^2 = \left(\frac{U(m)}{m}\right)^2 + \left(2\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(h)}{h}\right)^2$$

$$\left(\frac{U(\rho)}{\rho}\right)^2 = \left(\frac{20}{1580}\right)^2 + \left(2\frac{0,0060}{25,423}\right)^2 + \left(\frac{0,10}{77,35}\right)^2$$

$$\left(\frac{U(\rho)}{\rho}\right)^2 = (16023,2 + 22,28 + 167,2) \cdot 10^{-8} = 16.212,8 \times 10^{-8}$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Cálculo da incerteza (U) combinada

Cálculo do valor da massa específica ρ :

$$\rho = (4 \cdot m) / (\pi \cdot D^2 \cdot h) = (4 \cdot 1580) / (3,14159 \cdot (25,423)^2 \cdot 77,35) = 0,040239 \left[\frac{g}{mm^3} \right]$$

Cálculo do valor da incerteza U da massa específica ρ :

$$\left(\frac{U(\rho)}{\rho} \right)^2 = (16023,2 + 22,28 + 167,2) \cdot 10^{-8} = 16.212,8 \times 10^{-8} \Rightarrow \text{passando } \sqrt{\quad} \text{ em ambos lados, temos:}$$

$$\Rightarrow U(\rho) = \underbrace{0,040239}_{\rho} \left[\frac{g}{mm^3} \right] \cdot \sqrt{16.212,8 \times 10^{-8}} = 0.0005124 \left[\frac{g}{mm^3} \right]$$

$$RM = \underbrace{(0,04024)}_{\rho} \pm \underbrace{0,00051}_{U(\rho)} \left[\frac{g}{mm^3} \right]$$

Onde:

RM: resultado da medição;

ρ : massa específica; e

$U(\rho)$: incerteza de ρ .



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Cálculo da incerteza (U) combinada

Soma e subtração de incertezas

$$[u(X_1 \pm X_2 \pm \dots \pm X_n)]^2 = [u(X_1)]^2 + [u(X_2)]^2 + \dots + [u(X_n)]^2$$

Multiplicação e divisão de incertezas

$$\left[\frac{u(X_1 \cdot X_2)}{X_1 \cdot X_2} \right]^2 = \left[\frac{u(X_1)}{X_1} \right]^2 + \left[\frac{u(X_2)}{X_2} \right]^2$$

Caso particular para duas variáveis

$$u_R^2(X_1 \cdot X_2) = u_R^2(X_1) + u_R^2(X_2)$$

$$u_R^2(X_1/X_2) = u_R^2(X_1) + u_R^2(X_2)$$

Caso particular para N variáveis

$$u_R^2(X_1^{\pm 1} \cdot X_2^{\pm 1} \dots X_n^{\pm 1}) = u_R^2(X_1) + u_R^2(X_2) + \dots + u_R^2(X_n)$$

C a s o g e r a l

$$G = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

$$u^2(G) = \left(\frac{\partial f}{\partial X_1} u(X_1) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial X_2} u(X_2) \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n} u(X_n) \right)^2$$



Estimativa da Incerteza Combinada em Medições não Correlacionadas (MNC)

Cálculo da incerteza (U) combinada

1. Calcule a resistência R e sua incerteza em $[\Omega]$ de um condutor de seção reta circular de alumínio cujo o comprimento l é 2,0 [m] e o diâmetro D de 2,0 [mm] (= 0,002 [m]), sendo que as incertezas determinadas são de $U(l) = 0,01$ [m] e $U(D) = 0,01$ [mm] (= 0,00001 [m]), respectivamente:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = \frac{4 \cdot \rho \cdot l}{\pi \cdot D^2}$$

Sendo ρ do alumínio é $2,825 \times 10^{-6}$ [$\Omega \cdot \text{cm}$] (= $2,825 \times 10^{-8}$ [$\Omega \cdot \text{m}$]) e sua incerteza $0,014 \times 10^{-6}$ [$\Omega \cdot \text{cm}$] (= $0,014 \times 10^{-8}$ [$\Omega \cdot \text{m}$])

Aplicando o caso geral:

$$u^2(R) = \left(\frac{\partial f}{\partial \rho} u(\rho) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l} u(l) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial A} u(A) \right)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial \rho} u(\rho) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l} u(l) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial D} u(D) \right)^2$$

$$u^2(R) = \left(\frac{4 \cdot l}{\pi \cdot D^2} u(\rho) \right)^2 + \left(\frac{4 \cdot \rho}{\pi \cdot D^2} u(l) \right)^2 + \left(\frac{-8 \cdot \rho \cdot l}{\pi \cdot D^3} u(D) \right)^2$$

Dividindo tudo por $R = \rho \frac{l}{A} = \frac{4 \cdot \rho \cdot l}{\pi \cdot D^2}$ e simplificando, tem-se:

$$\text{Cálculo de } R = \rho \frac{l}{A} = \frac{4 \cdot \rho \cdot l}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \times 2,825 \times 10^{-8} \times 2,0}{\pi \times 0,002^2}$$

$$R = 1,798451\text{E-}2 \text{ } [\Omega] = 0,0179845 \text{ } [\Omega]$$

$$\left(\frac{U(R)}{R} \right)^2 = \underbrace{[0,000025]}_{(1)} + \underbrace{[0,000025]}_{(2)} + \underbrace{[0,000100]}_{(3)}$$

$$\frac{U(R)}{R} = 1,22474487\text{E-}2$$

$$U(R) = 2,2026434\text{E-}4 \text{ } [\Omega] = 0,00022 \text{ } [\Omega]$$

$$\text{RM} = (0,01798 \pm 0,00022) \text{ } [\Omega]$$

$$\left(\frac{U(R)}{R} \right)^2 = \left[\left(\frac{U(\rho)}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{U(l)}{l} \right)^2 + \left(-2 \times \frac{U(D)}{D} \right)^2 \right]$$

$$\left(\frac{U(\rho)}{\rho} \right)^2 = \left(\frac{0,014 \times 10^{-8}}{2,825 \times 10^{-8}} \right)^2 = 0,000025 = 2,455947\text{E-}5 \quad (1)$$

$$\left(\frac{U(l)}{l} \right)^2 = \left(\frac{0,01}{2,0} \right)^2 = 0,000025 = 2,5\text{E-}5 \quad (2)$$

$$\left(-2 \times \frac{U(D)}{D} \right)^2 = \left(-2 \times \frac{0,00001}{0,002} \right)^2 = 0,000100 = 1,0\text{E-}4 \quad (3)$$

EPRI14 – Metrologia

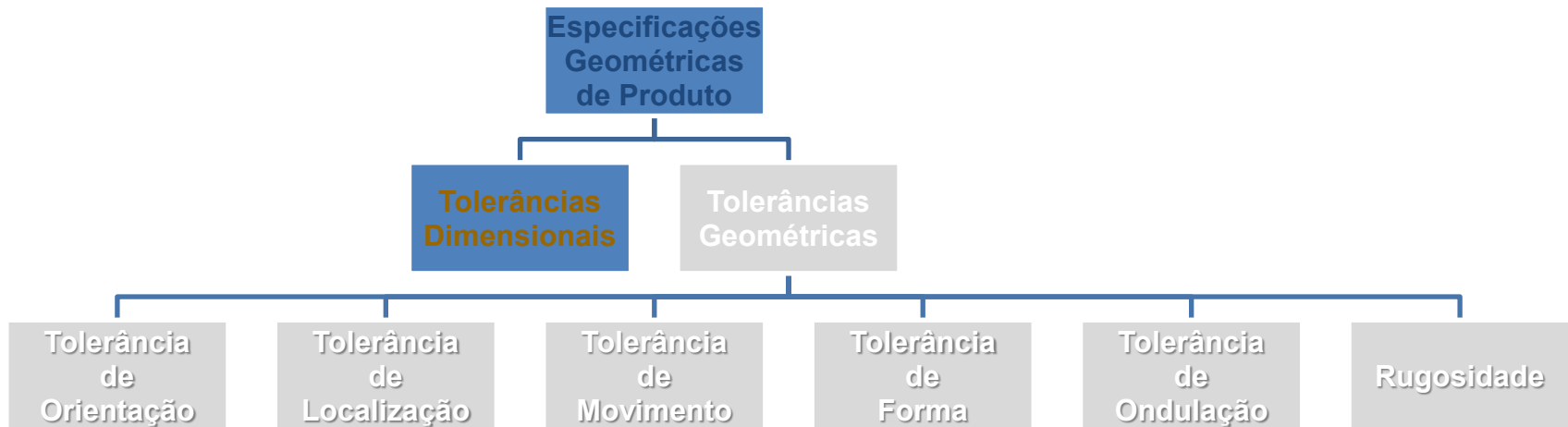
09

Tolerâncias / Ajustes / Controle Geométrico





Tipos de especificações geométricas





Tipos de especificações geométricas

◆ Especificações Geométricas de Produto (EGP)

As **Especificações Geométricas de Produto** representam o conjunto de requisitos técnicos que definem não apenas o tamanho (dimensão) da peça, mas também sua **forma, orientação, posição e acabamento superficial**.

Na prática industrial, não basta apenas indicar uma dimensão nominal no desenho técnico.

É necessário estabelecer limites aceitáveis de variação para garantir:

- Intercambiabilidade;
- Funcionamento adequado do conjunto mecânico;
- Montagem correta;
- Qualidade e confiabilidade do produto.

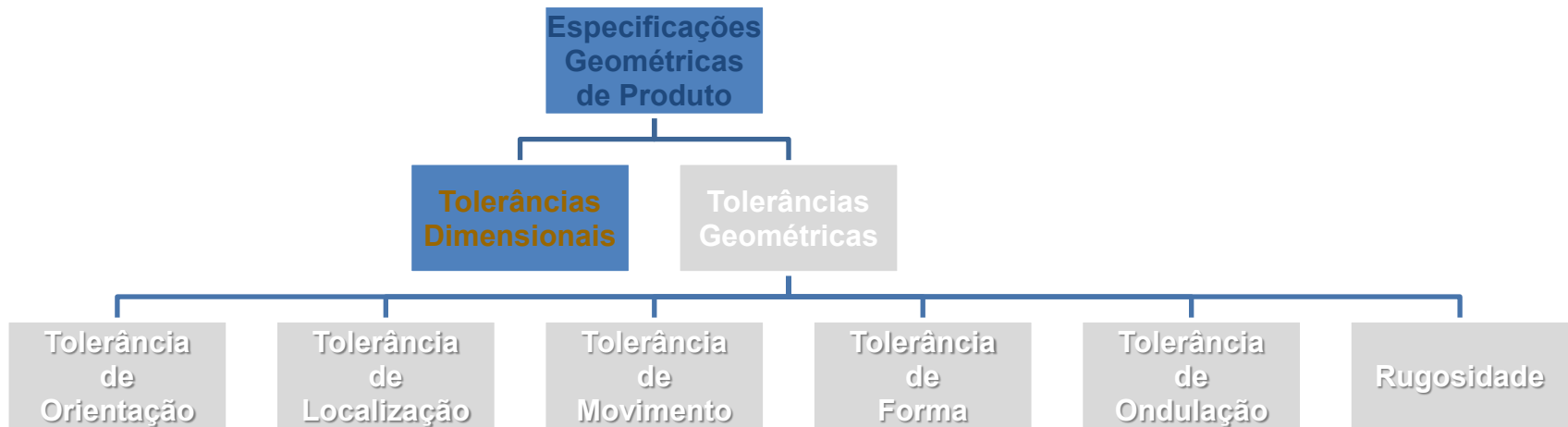
As especificações geométricas englobam dois grandes grupos:

1.Tolerâncias Dimensionais

2.Tolerâncias Geométricas



Tipos de especificações geométricas





Tipos de especificações geométricas

◆ Tolerâncias Dimensionais

As **tolerâncias dimensionais** definem a variação permissível de uma dimensão nominal. Nenhum processo de fabricação produz peças com medidas absolutamente exatas.

Portanto, admite-se uma variação entre um valor máximo e um valor mínimo.

📌 Definição:

Tolerância (T) = Dimensão máxima – Dimensão mínima

Elas garantem que, mesmo com pequenas variações de fabricação, a peça continue funcional.

Exemplo:

Um eixo com dimensão 40 mm pode ter:

Dimensão máxima = 40,025 mm

Dimensão mínima = 40,000 mm

Tolerância = 0,025 mm

As tolerâncias dimensionais são fundamentais para:

Ajustes com folga;

Ajustes com interferência;

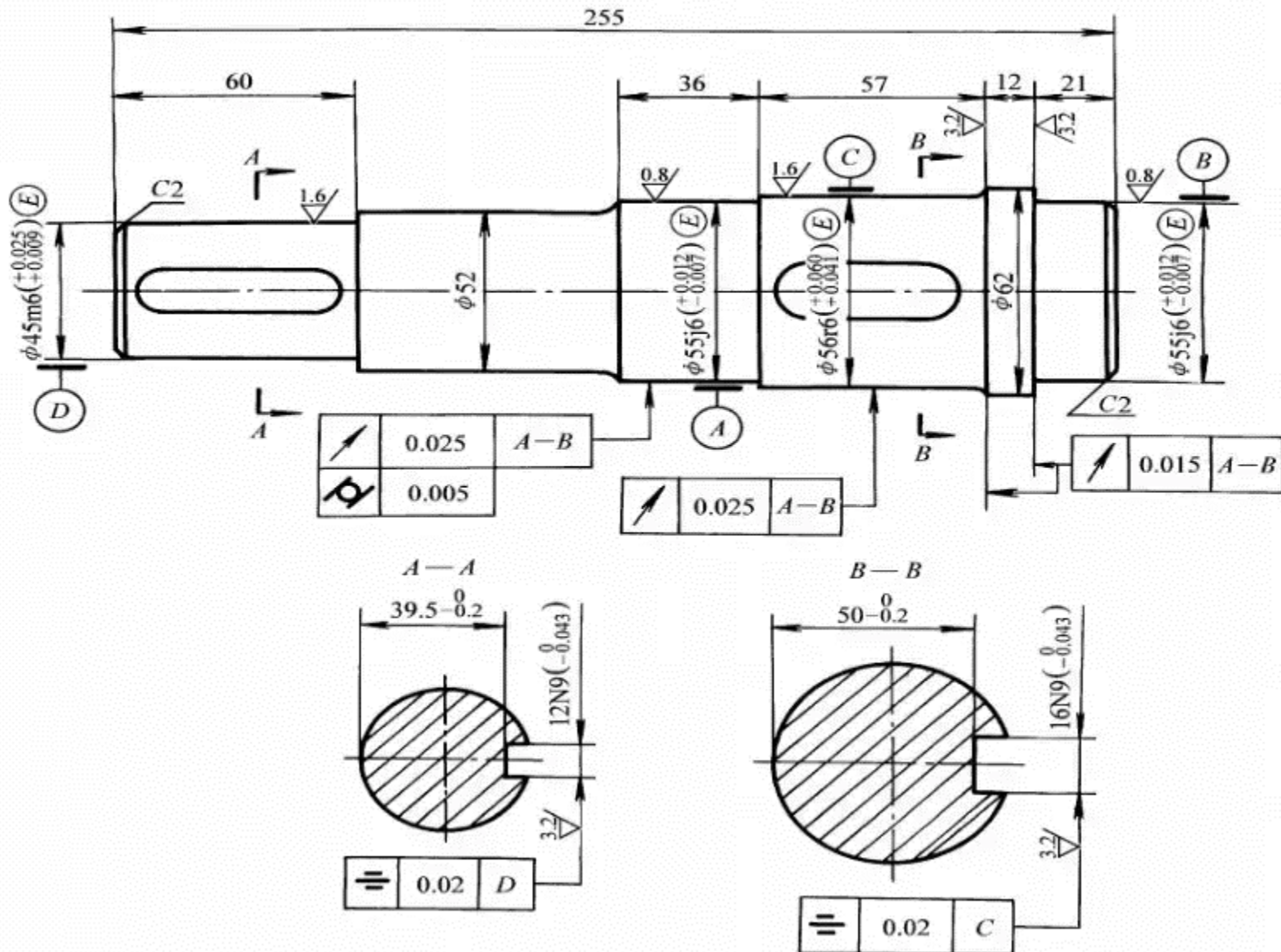
Ajustes incertos;

Sistemas furo-base e eixo-base (ABNT/ISO).



Interpretação de desenho com tolerâncias geométricas

Eixo mecânico escalonado com rasgos longitudinais (tipo chaveta).



Metrologia

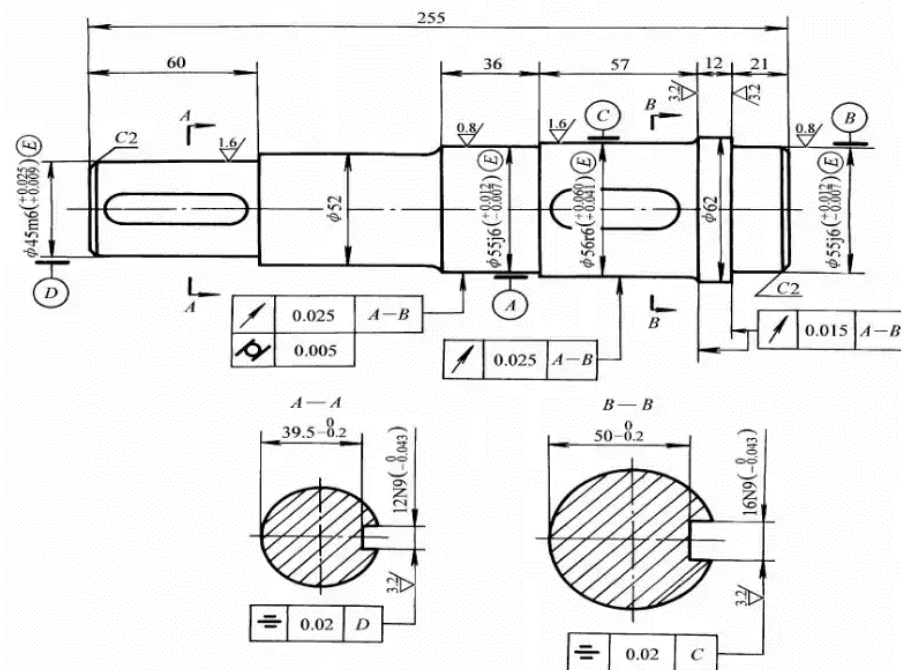
O slide apresenta um **desenho técnico de um eixo escalonado** com:

- Dimensões nominais e tolerâncias dimensionais;
- Referências (**Datums***) A, B, C e D;
- Indicações de rugosidade superficial;
- Tolerâncias geométricas (forma, orientação e posição).

Na parte inferior, os cortes **A-A** e **B-B** mostram o controle de:

- Circularidade;
- Batimento;
- Paralelismo ou posição em relação aos datums.

O exemplo demonstra que **não basta controlar apenas o diâmetro**, sendo necessário também controlar a geometria para garantir o funcionamento do conjunto mecânico.



***Datums** são referências geométricas usadas como base para medir e controlar uma peça no desenho técnico.

Eles podem ser:

- Um **plano**
- Um **eixo**
- Um **ponto**

Servem para indicar **em relação a quê** uma tolerância geométrica deve ser aplicada (paralelismo, perpendicularidade, posição, etc.).



Em resumo:

São as “referências oficiais” da peça para garantir montagem e funcionamento corretos.



Interpretação de desenho com tolerâncias geométricas

Eixo mecânico escalonado com rasgos longitudinais (tipo chaveta).

◆ Características observadas no desenho:

- Corpo cilíndrico com **diâmetros diferentes (degraus)**
- **Rasgos longitudinais** nas extremidades (provavelmente para chaveta ou arraste)
- Controle dimensional ISO (ex.: $\varnothing 55\ j6$, $\varnothing 56\ f6$)
- Tolerâncias geométricas com referência a datums (A, B, C, D)
- Indicação de rugosidade superficial
- Chanfros (C2)
- Seções A–A e B–B mostrando o perfil do rasgo

🔑 Aplicação provável:

Esse tipo de eixo é usado para:

- Transmitir torque
- Acoplar engrenagens, polias ou acoplamentos
- Montagem com chavetas
- Sistemas rotativos (máquinas, redutores, motores)



Interpretação de desenho com tolerâncias geométricas

Eixo mecânico escalonado com rasgos longitudinais (tipo chaveta).

Esse desenho (à direita) é um **quadro de tolerância geométrica** (*feature control frame*).

Ele indica duas exigências:

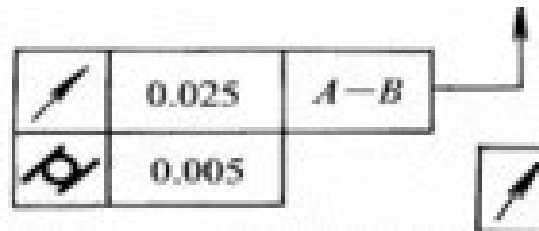
◆ Linha superior

Símbolo de **batimento** (*circular runout*)

Valor: **0,025 mm**

Referência: **A—B**

→ Significa que a superfície controlada pode variar no máximo 0,025 mm quando a peça gira, tomando como referência os *datums* A e B.



◆ Linha inferior

Símbolo de **circularidade** (ou **concentricidade**, dependendo da norma aplicada)

Valor: **0,005 mm**

→ Indica um controle mais rigoroso da forma da seção circular, limitando a variação a 0,005 mm.

📌 Resumindo:

O elemento deve ter **boa concentricidade/forma (0,005 mm)** e **baixo batimento em relação aos referenciais A e B (0,025 mm)**.



Conceito

- A **prática** tem demonstrado que as medidas das **peças podem variar**, dentro de certos limites, **para mais ou para menos**, sem que isso prejudique a **qualidade** do produto.

TOLERÂNCIA:

- Variação permissível da dimensão da peça, dada pela diferença entre dimensões máxima e mínima

OUTROS CONCEITOS:

- **Dimensão nominal (D)**: indicadas nos desenhos técnicos;
- **Afastamento superior (As/ as)**: é o maior valor definido pela tolerância;
- **Afastamento inferior (Ai/ ai)**: é o menor valor definido pela tolerância;



Conceito

◆ Por que usamos **As** / **as** e **Ai** / **ai**?

Porque o sistema ISO diferencia:

FURO → letras maiúsculas

EIXO → letras minúsculas

Assim:

As = Afastamento superior do **Furo**

Ai = Afastamento inferior do **Furo**

as = Afastamento superior do **Eixo**

ai = Afastamento inferior do **Eixo**

📌 A letra indica se estamos falando de furo (maiúscula) ou eixo (minúscula).

Mas o que é o sistema ISO?



◆ O que é ISO?

ISO significa ***International Organization for Standardization*** (Organização Internacional de Normalização).

É uma entidade internacional que cria **normas técnicas** para padronizar produtos, processos e sistemas no mundo todo.

📌 No contexto da Metrologia

A ISO define normas para:

- Tolerâncias dimensionais;
- Ajustes entre furos e eixos;
- Tolerâncias geométricas; e
- Rugosidade superficial.

Exemplo: **Sistema ISO de tolerâncias e ajustes (ISO 286).**

🎯 Por que isso é importante?

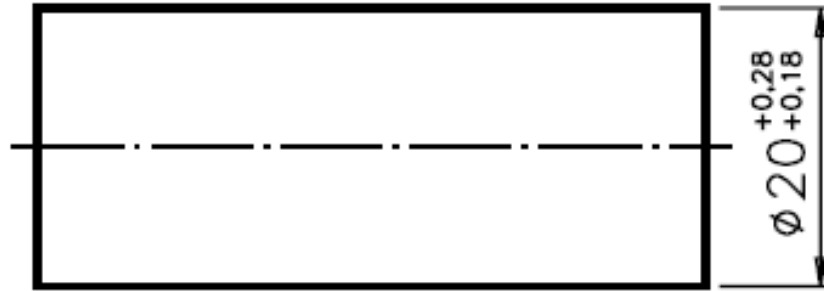
Porque garante que:

- Peças fabricadas em países diferentes sejam intercambiáveis
- Haja padrão internacional de qualidade
- Desenhos técnicos sejam interpretados da mesma forma no mundo inteiro



Conceito

- Exemplo de afastamento dado pelo seguinte desenho técnico para um **eixo**:



ESC 1:1

Afastamento Superior (**as**) = $+0,28$

Afastamento inferior (**ai**) = $+0,18$



Conceito

OUTROS CONCEITOS:

- **Campo de tolerância (IT):** valor entre o afastamento superior e o inferior.
- **Dimensão efetiva:** valor obtido medindo a peça;
- **Dimensão máxima (D_{max} ou d_{max}):** é o valor máximo admissível para a dimensão nominal **D** (indicadas nos desenhos técnicos). É a soma do valor nominal com o afastamento superior. Sendo **D_{max}** para **furos** e **d_{max}** para **eixos**.
- **Dimensão mínima (D_{min} ou d_{min}):** valor mínimo admissível para a dimensão nominal **D** (indicadas nos desenhos técnicos). É a soma do valor nominal com o afastamento inferior. Sendo **D_{min}** para **furos** e **d_{min}** para **eixos**.
- **Tolerância (T):** é a variação entre a **Dimensão máxima (D_{max} ou d_{max})** e a **Dimensão mínima (D_{min} ou d_{min})**.



Sistemas de ajustes para furos e eixos

- O **ajuste com folga** acontece quando o eixo desliza ou gira livremente dentro do furo.
Condição de existência: afastamento superior do eixo (a_s) $\leq$ Afastamento inferior do furo (A_i): ajuste com folga;
- O **ajuste com interferência** acontece quando o eixo se encaixa no furo com certo esforço, de modo a ficar fixo.
Condição de existência: Afastamento superior do furo (A_s) $\leq$ afastamento inferior do eixo (a_i): ajuste com interferência.
- O **ajuste incerto** é uma situação intermediária em que o eixo pode se encaixar no furo com folga ou com interferência, dependendo de suas dimensões efetivas.
Condição de existência:
 - i) O afastamento superior do eixo (a_s) $>$ o afastamento inferior do furo (A_i);
 - ii) O afastamento superior do furo (A_s) $>$ o afastamento inferior do eixo (a_i).



Sistemas de ajustes para furos e eixos

- O **ajuste com folga** acontece quando o eixo desliza ou gira livremente dentro do furo.

Condição de existência: O afastamento Superior do eixo < afastamento inferior do furo.

 **Exemplo:**

Furo:

40,00 a 40,02 mm

Eixo:

39,96 a 39,98 mm

 **Análise:**

- Maior eixo = 39,98
- Menor furo = 40,00

 $39,98 < 40,00$

✓ Sempre haverá folga.

Folga:

- **Folga mínima:** $40,00 - 39,98 = 0,02 \text{ mm}$
- **Folga máxima:** $40,02 - 39,96 = 0,06 \text{ mm}$



Sistemas de ajustes para furos e eixos

- O **ajuste com interferência** acontece quando o eixo se encaixa no furo com certo esforço, de modo a ficar fixo.

Condição de existência: O afastamento Superior do furo < afastamento inferior do eixo.

 **Exemplo:**

Furo:

40,00 a 40,02 mm

Eixo:

40,03 a 40,05 mm

 **Análise:**

- Maior furo = 40,02
- Menor eixo = 40,03

 $40,02 < 40,03$

✓ Sempre haverá interferência.

Interferência:

- **Interferência mínima:** $40,03 - 40,02 = 0,01 \text{ mm}$
- **Interferência máxima:** $40,05 - 40,00 = 0,05 \text{ mm}$



Sistemas de ajustes para furos e eixos

- O **ajuste incerto** é uma situação intermediária em que o eixo pode se encaixar no furo com folga ou com interferência, dependendo de suas dimensões efetivas.

Condição de existência:

- i) O afastamento superior do eixo $>$ o afastamento inferior do furo: interferência;
- ii) O afastamento superior do furo $>$ o afastamento inferior do eixo: folga.

Ou

- i) Se diâmetro máximo do eixo $>$ diâmetro mínimo do furo $\rightarrow$ pode haver interferência;
- ii) Se diâmetro mínimo do eixo $<$ diâmetro máximo do furo $\rightarrow$ pode haver folga.

Exemplo:

Furo:

40,00 a 40,04 mm

Eixo:

39,98 a 40,02 mm

Análise:

- Pode acontecer folga OU interferência.

Situação (i):

$40,02 - 40,00 = 0,02$ mm de interferência

Situação (ii):

$40,04 - 39,98 = 0,06$ mm de folga

✓ Depende das dimensões reais fabricadas.



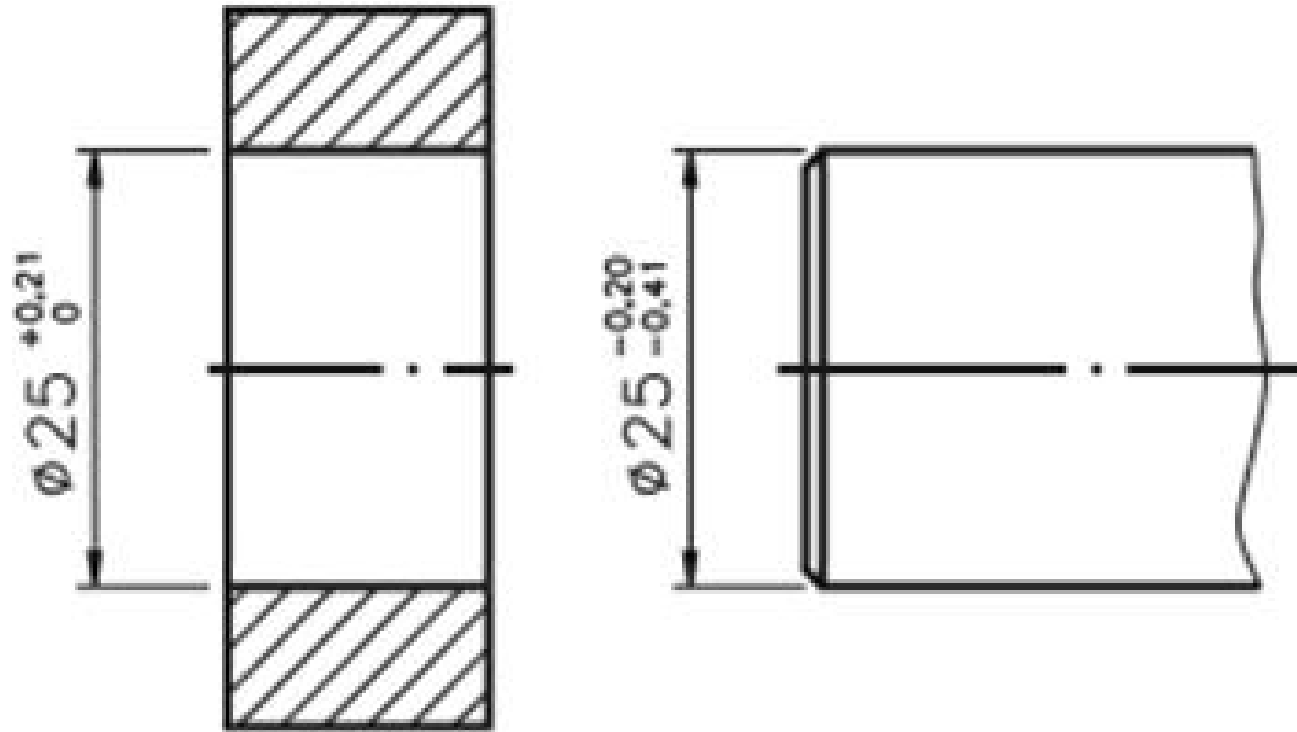
Sistemas de ajustes para furos e eixos

Tipo	O que acontece?
Folga	Sempre sobra espaço
Interferência	Sempre aperta
Incerto	Pode sobrar ou apertar



Sistemas de ajustes para furos e eixos

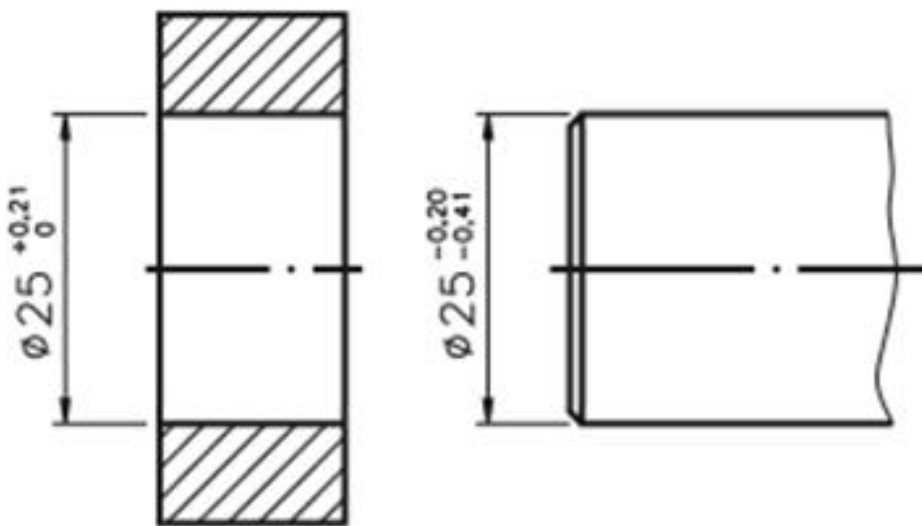
Exemplo 1





Sistemas de ajustes para furos e eixos

Exemplo 1



◆ O que acontece nesse exemplo?

Temos:

Furo:

$\varnothing 25 +0,21 / 0$

→ Varia de **25,00 a 25,21 mm**

Eixo:

$\varnothing 25 -0,20 / -0,41$

→ Varia de **24,59 a 24,80 mm**



Comparando:

- Maior eixo = 24,80 mm
- Menor furo = 25,00 mm



O eixo sempre será menor que o furo.



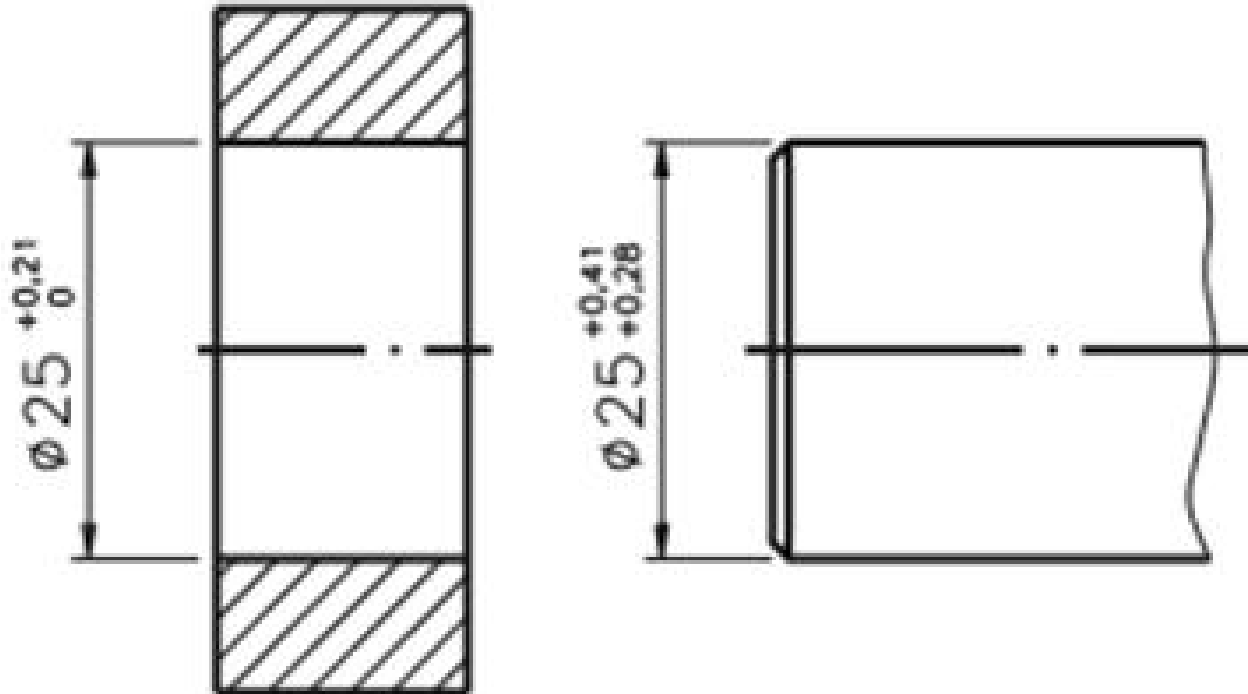
Conclusão

- ✓ Sempre haverá **folga**.
- ✓ É um **ajuste com folga**.
- ✓ O eixo entra facilmente no furo.



Sistemas de ajustes para furos e eixos

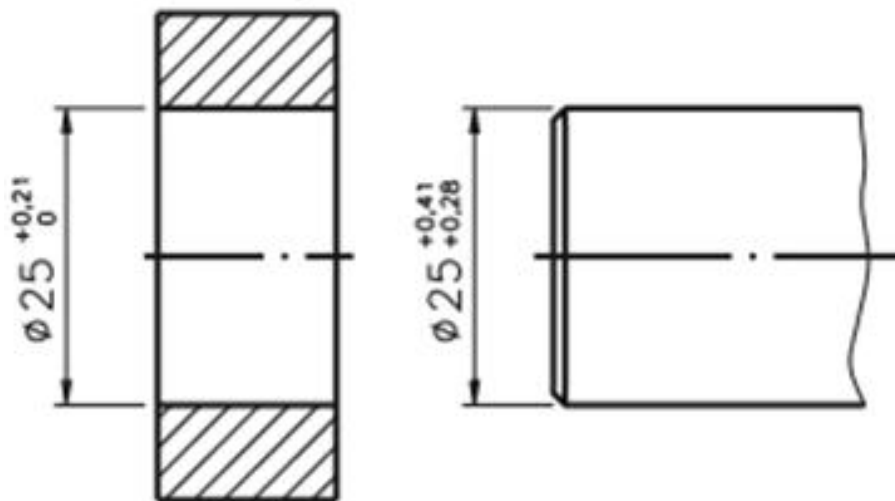
Exemplo 2





Sistemas de ajustes para furos e eixos

Exemplo 2



Temos:

◆ Furo

$\varnothing 25 +0,21 / 0$

→ Varia de **25,00 a 25,21 mm**

◆ Eixo

$\varnothing 25 +0,26 / +0,41$

→ Varia de **25,26 a 25,41 mm**



Comparação

- **Maior furo:** 25,21 mm

- **Menor eixo:** 25,26 mm



$25,26 > 25,21$

Mesmo na menor condição do eixo e maior do furo, o eixo ainda é maior.



Conclusão

- ✓ Sempre haverá **interferência**

- ✓ É um **ajuste com interferência**

- ✓ A montagem exige pressão ou dilatação térmica

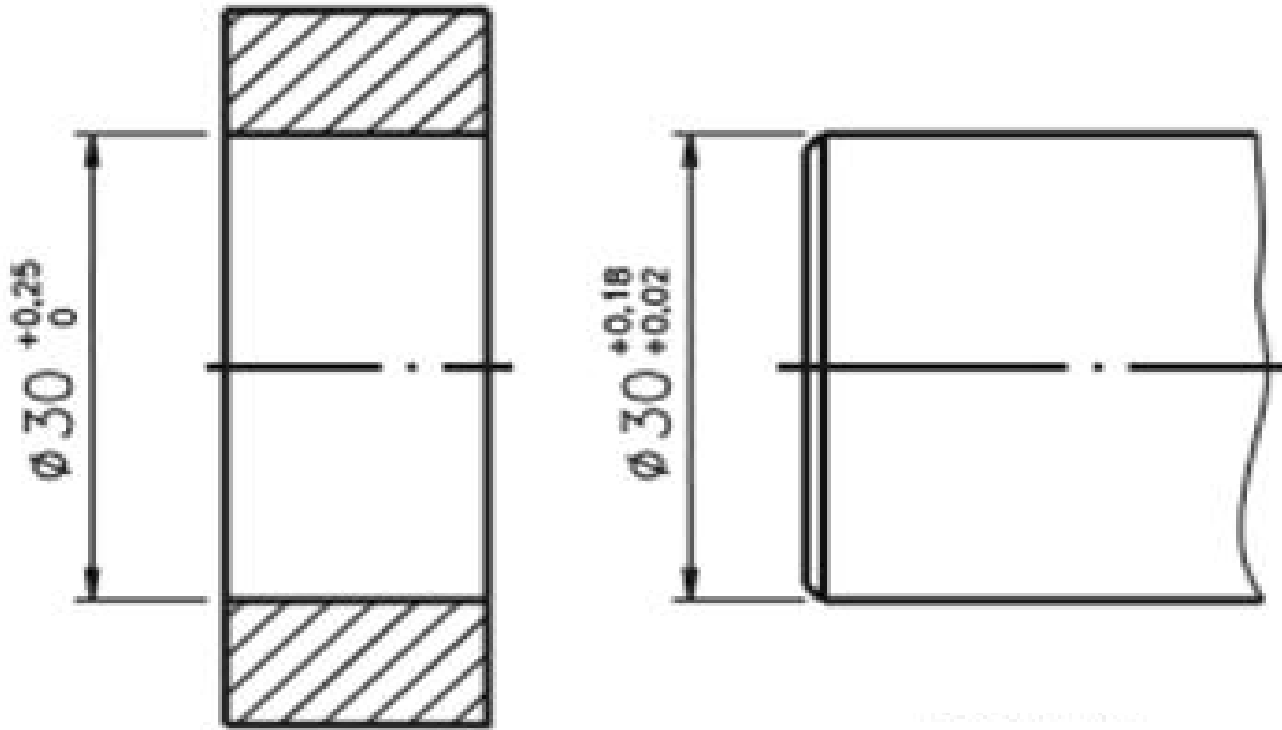
Resumo bem direto:

O eixo nunca será menor que o furo. Portanto, o encaixe será sempre apertado.



Sistemas de ajustes para furos e eixos

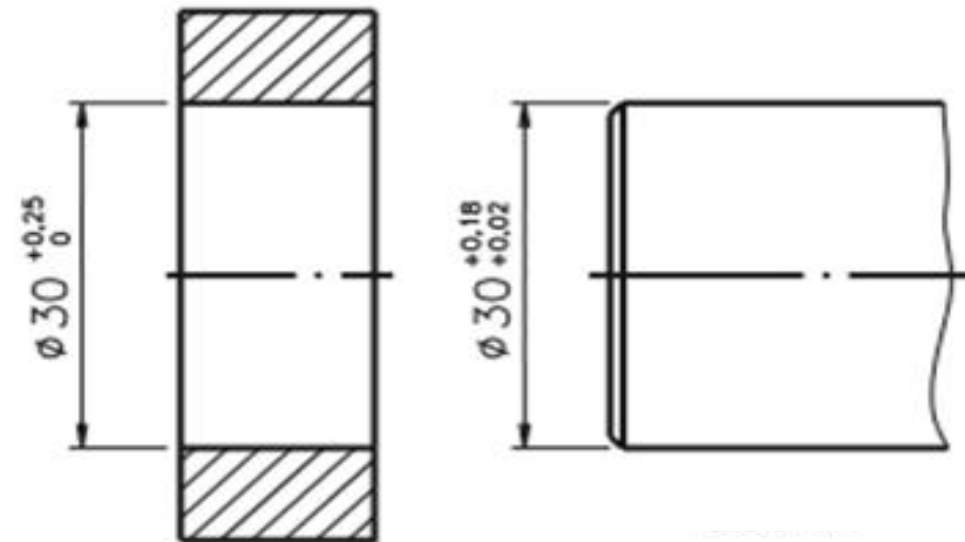
Exemplo 3





Sistemas de ajustes para furos e eixos

Exemplo 3



◆ Dados do exemplo

Furo:

$\varnothing 30 +0,25 / 0$

→ Varia de **30,00 a 30,25 mm**

Eixo:

$\varnothing 30 +0,02 / +0,18$

→ Varia de **30,02 a 30,18 mm**

🔍 Comparando

- Pode ocorrer **folga**

Ex: $30,25 - 30,02 = \mathbf{0,23 \text{ mm}}$

- Pode ocorrer **interferência**

Ex: $30,02 - 30,00 = \mathbf{0,02 \text{ mm}}$

📌 Conclusão

✓ É um **ajuste incerto (ou de transição)**

✓ Pode haver folga ou interferência

✓ Depende das dimensões reais fabricadas

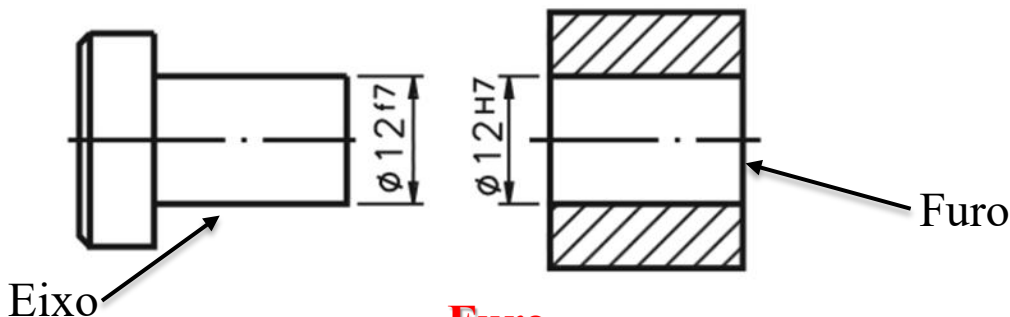
Resumo direto:

As zonas de tolerância se sobrepõem, então o encaixe pode ser solto ou apertado.



De acordo com a teoria de ajustes e tolerância respondam as seguintes perguntas:

a) Analise o desenho abaixo, consulte a tabela apropriada e defina os afastamentos do furo e do eixo para este projeto.



Eixo

Furo

AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA FURO-BASE H7(*)
Tolerância em milésimos de milímetros (μm)

Dimensão nominal mm		Furo af. inf. af. sup.	EIXOS								
			afastamento superior								
			afastamento inferior								
acima de	até	H 7	f 7	g 6	h 6	j 6	k 6	m 6	n 6	p 6	r 6
0	1	0	-6	-2	0	+4	+6	-	+10	+12	+16
1	3	+10	-16	-8	-6	-2	0	-	+4	+6	+10
3	6	0	-10	-4	0	+6	+9	+12	+16	+20	+23
		+12	-22	-12	-8	-2	+1	+4	+8	+12	+15
6	10	0	-13	-5	0	+7	+10	+15	+19	+24	+28
		+15	-28	-14	-9	-2	+1	+6	+10	+15	+19
10	14	0	-16	-6	0	+8	+12	+18	+23	+29	+34
14	18	+18	-34	-17	-11	-3	+1	+7	+12	+18	+23

Diâmetro Nominal = 12,000 mm

afastamento inferior (ai) = -34 μm = - 0,034 mm

afastamento superior (as) = - 16 μm = - 0,016 mm

AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA EIXO-BASE h6(*)
Tolerância em milésimos de milímetros (μm)

Dimensão nominal mm		Eixo af. sup. af. inf.	FUROS								
			afastamento inferior								
			afastamento superior								
acima de	até	h 6	F 6	G 7	H 7	J 7	K 7	M 7	N 7	P 7	R 7
0	1	0	+6	+2	0	-6	-10	-	-	-16	-20
1	3	-6	-12	+12	+10	+4	0	-	-	-6	-10
3	6	0	+10	+4	0	-6	-9	-12	-16	-20	-23
		-8	+18	+16	+12	+6	+3	0	-4	-8	-11
6	10	0	+13	+5	0	-7	-10	-15	-19	-24	-28
		-9	+22	+20	+15	+8	+5	0	-4	-9	-13
10	14	0	+16	+6	0	-8	-12	-18	-23	-29	-34
14	18	-11	+27	+24	+18	+10	+6	0	-5	-11	-16

Diâmetro Nominal = 12,000 mm

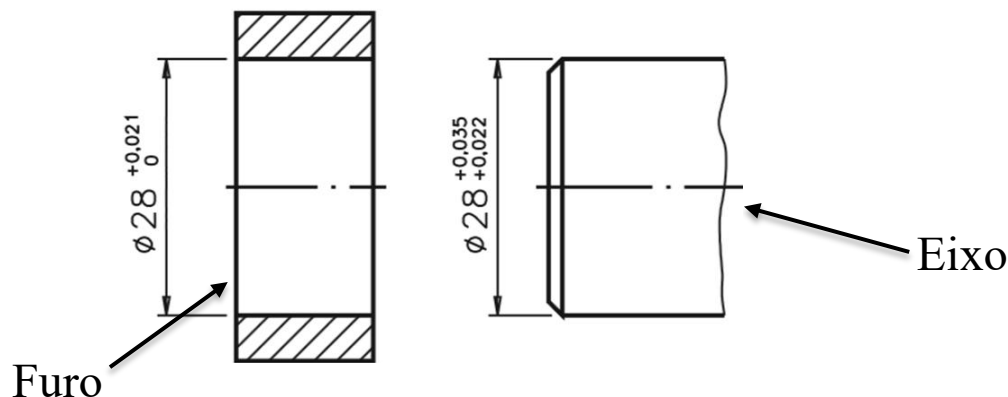
Afastamento inferior (Ai) = 0 μm = 0,000 mm

Afastamento superior (As) = 18 μm = 0,018 mm



De acordo com a teoria de ajustes e tolerância respondam as seguintes perguntas:

b) Analise o desenho técnico cotado, observe os afastamentos e verifique o tipo de ajuste para o projeto em questão.



Furo

Afastamento inferior (A_i) = 0,000 mm

Afastamento superior (A_s) = 0,021 mm

Eixo

afastamento inferior (a_i) = 0,022 mm

afastamento superior (a_s) = 0,035 mm

Condições:

- 1) afastamento superior do eixo (a_s) $\leq$ Afastamento inferior do furo (A_i): ajuste com folga;
- 2) Afastamento superior do furo (A_s) $\leq$ afastamento inferior do eixo (a_i): ajuste com interferência.

Folga: $a_s \leq A_i \rightarrow 0,035 \leq 0,000$ mm (F)

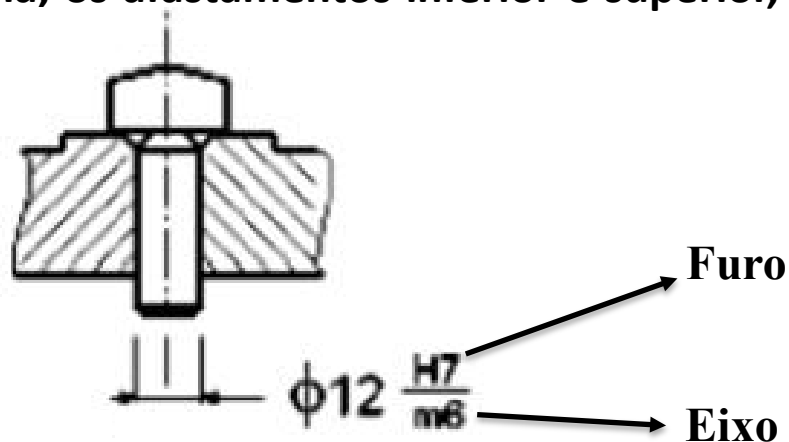
Interferência: $A_s \leq a_i \rightarrow 0,021$ mm $\leq 0,022$ (V)

Portanto o afastamento é com interferência.



De acordo com a teoria de ajustes e tolerância respondam as seguintes perguntas:

c) Analise o desenho abaixo e defina a dimensão nominal, o campo de tolerância, a dimensão máxima, os afastamentos inferior e superior, tanto para o furo quanto para o eixo:



O sistema é o furo base em função do H7.

Baseado na tabela tem-se (arquivo “Tabela de eixo base h6 e furo base H7.pdf”):

AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA EIXO-BASE h6(*)
Tolerância em milésimos de milímetros (μm)

Dimensão nominal mm		Eixo af. sup. af. inf.	FUROS									
acima de	até		afastamento inferior	afastamento superior								
			h 6	F 6	G 7	H 7	J 7	K 7	M 7	N 7	P 7	R 7
0	1		0	+ 6	+ 2	0	- 6	- 10	-	-	- 16	- 20
1	3		- 6	- 12	+ 12	+ 10	+ 4	0	-	-	- 6	- 10
3	6		0	+ 10	+ 4	0	- 6	- 9	- 12	- 16	- 20	- 23
			- 8	+ 18	+ 16	+ 12	+ 6	+ 3	0	- 4	- 8	- 11
6	10		0	+ 13	+ 5	0	- 7	- 10	- 15	- 19	- 24	- 28
			- 9	+ 22	+ 20	+ 15	+ 8	+ 5	0	- 4	- 9	- 13
10	14		0	+ 16	+ 6	0	- 8	- 12	- 18	- 23	- 29	- 34
14	18		- 11	+ 27	+ 24	+ 18	+ 10	+ 6	0	- 5	- 11	- 16

Furo:

Afastamento Superior = 0,018 mm

Afastamento Inferior = 0,000 mm

Dimensão nominal = 12,000 mm

Dimensão máxima = 12,000 + 0,018 = 12,018 mm

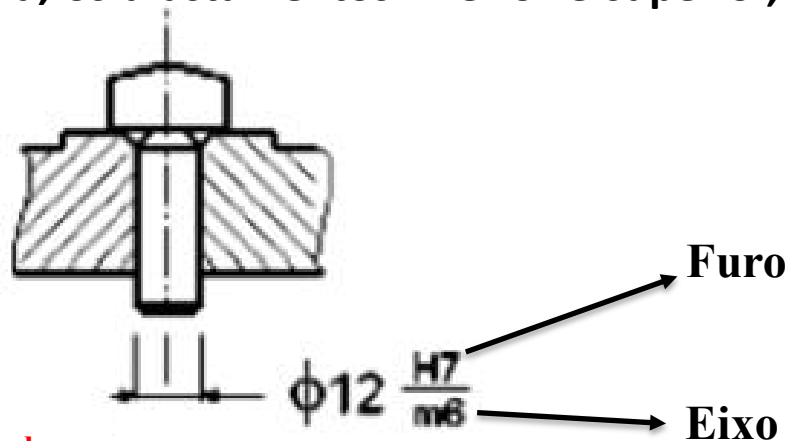
Dimensão mínima = 12,000 + 0,000 = 12,000 mm

Campo de tolerância = 0,018 - 0,000 = 0,018 mm



De acordo com a teoria de ajustes e tolerância respondam as seguintes perguntas:

c) Analise o desenho abaixo e defina a dimensão nominal, o campo de tolerância, a dimensão máxima, os afastamentos inferior e superior, tanto para o furo quanto para o eixo:



O sistema é o eixo base em função do m6.

Baseado na tabela tem-se (arquivo “Tabela de eixo base h6 e furo base H7.pdf”):

AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA FURO-BASE H7(*)
Tolerância em milésimos de milímetros (μm)

Dimensão nominal mm		Furo ^{af. sup.} ^{af. inf.}	EIXOS								
			afastamento superior								
			afastamento inferior								
acima de	até	H 7	f 7	g 6	h 6	j 6	k 6	m 6	n 6	p 6	r 6
0	1	0	- 6	- 2	0	+ 4	+ 6	+ 10	+ 12	+ 16	
1	3	+ 10	- 16	- 8	- 6	- 2	0	-	+ 4	+ 6	+ 10
3	6	0	- 10	- 4	0	+ 6	+ 9	+ 12	+ 16	+ 20	+ 23
		+ 12	- 22	- 12	- 8	- 2	+ 1	+ 4	+ 8	+ 12	+ 15
6	10	0	- 13	- 5	0	+ 7	+ 10	+ 15	+ 19	+ 24	+ 28
		+ 15	- 28	- 14	- 9	- 2	+ 1	+ 6	+ 10	+ 15	+ 19
10	14	0	- 16	- 6	0	+ 8	+ 12	+ 18	+ 23	+ 29	+ 34
14	18	+ 18	- 34	- 17	- 11	- 3	+ 1	+ 7	+ 12	+ 18	+ 23

Eixo:

Dimensão nominal = 12,000 mm

Afastamento Superior = 0,018 mm

Afastamento Inferior = 0,007 mm

Dimensão máxima = 12,000 + 0,018 = 12,018 mm

Dimensão mínima = 12,000 + 0,007 = 12,007 mm

Campo de tolerância = 0,018 - 0,007 = 0,011 mm



De acordo com a teoria de ajustes e tolerância respondam as seguintes perguntas:

d) Num acoplamento, o eixo tem dimensão $\varnothing 85 \text{ mm}$ (+25 μm , +3 μm) e o furo $\varnothing 85 \text{ mm}$ (+0 μm , +35 μm). Dizer o tipo de ajuste deste acoplamento.

Eixo:

Dimensão Nominal = 85,000

Afastamento Superior (as) = 0,025 mm

Afastamento Inferior (ai) = 0,003 mm

Furo:

Dimensão nominal = 85,000

Afastamento Superior (As) = 0,035 mm

Afastamento Inferior (Ai) = 0,000 mm

Condição de existência:

- 1) Afastamento Superior do eixo (as) $\leq$ Afastamento Inferior do furo (Ai) : ajuste com folga;
- 2) Afastamento Superior do furo (As) $\leq$ Afastamento Inferior do eixo (ai) : ajuste com interferência.

1) Folga: as = 0,025 $\leq$ Ai = 0,000 (F)

2) Interferência: As = 0,035 $\leq$ ai = 0,003 (F)

PORTANTO, O AJUSTE É INCERTO



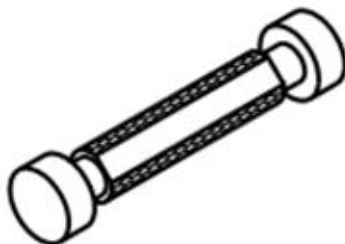
Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

		Qualidade de Trabalho																	
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Eixos		mecânica extra-precisa					mecânica corrente							mecânica grosseira					
Furos																			

- **IT01 a IT3 para eixos e IT01 a IT4 para furos:** São utilizadas para fabricações mais precisas e que precisam de menores tolerâncias.

Exemplos: Calibradores para furo e calibradores para eixos

Calibrador para furo



Calibrador para eixos





Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

		Qualidade de Trabalho																	
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Eixos	mecânica extra-precisa					mecânica corrente							mecânica grosseira						
Furos																			

◆ O que significa IT?

IT significa *International Tolerance* (Tolerância Internacional).

É o grau de qualidade da tolerância definido pela norma ISO.

Quanto menor o número (IT1, IT2...), maior a precisão.

Quanto maior o número (IT12, IT16...), maior a tolerância.

◆ Como se designa esse sistema?

É o Sistema ISO de Tolerâncias e Ajustes,

normatizado pela ABNT NBR 6158 (baseada na ISO 286).

📌 Resumo:

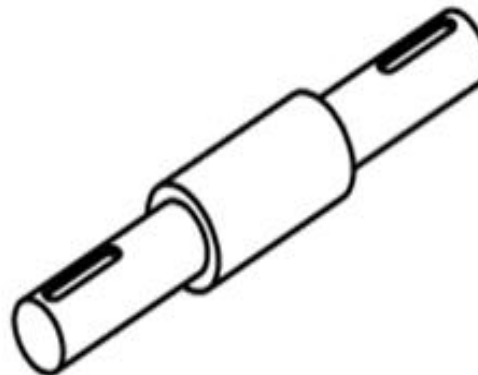
- IT = Grau de precisão da peça;
- Número menor → peça mais precisa
- Sistema padronizado internacionalmente (ISO / ABNT)



Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

		Qualidade de Trabalho																	
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Eixos		mecânica extra-precisa					mecânica corrente								mecânica grosseira				
Furos																			

- **IT4 a IT11 para eixos e IT5 a IT11 para furos:** São utilizadas para fabricações de peças que serão acopladas em outras.
Exemplo: Fabricação de eixo



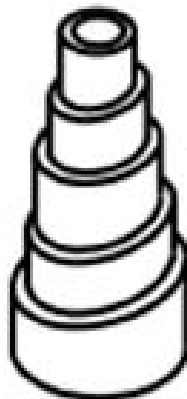


Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

		Qualidade de Trabalho																	
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Eixos		mecânica extra-precisa					mecânica corrente							mecânica grosseira					
Furos																			

- **IT12 a IT16 para eixos e furos:** Possuem maiores tolerâncias de fabricação. Aceitáveis para peças isoladas e que não requer grande precisão.

Exemplo: Fabricação de uma mola cônica de compressão.





Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

- Os **campos de tolerância ISO** normalmente vem representado por uma letra e um número. Por exemplo, pode-se citar o campo de tolerância **h7**.

Neste caso o **h** identifica o **campo de tolerância**, que são o conjuntos de valores aceitáveis após a execução da peça.

O número **7** indica a **qualidade do trabalho**, que no caso corresponde à mecânica recorrente.

- No sistema ISO, estabelece 28 campos de tolerâncias, identificados por letras do alfabeto latino.
- Para os **eixos** são representados por **letras minúsculas**.
- Para os **furos** são representados por **letras maiúsculas**.



Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j	js	k
m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc



Campos de tolerâncias para eixos

A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	J	JS	K
M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC



Campos de tolerâncias para furos



Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j	js	k
m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc



Campos de tolerâncias para eixos

A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	J	JS	K
M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC



Campos de tolerâncias para furos

◆ Exemplos de campos de tolerância para eixos (letras minúsculas)

- **h6** → eixo-base (muito comum)
- **g6** → eixo levemente menor (ajuste com folga)
- **f7** → eixo com maior folga
- **k6** → eixo ligeiramente maior (transição)
- **p6** → eixo maior (interferência)

📌 Exemplo prático: 40h6, 40g6, 40k6

◆ Exemplos de campos de tolerância para furos (letras maiúsculas)

- **H7** → furo-base (mais utilizado)
- **G7** → furo levemente menor
- **F8** → furo ainda menor
- **K7** → furo maior (transição)
- **P7** → furo bem maior

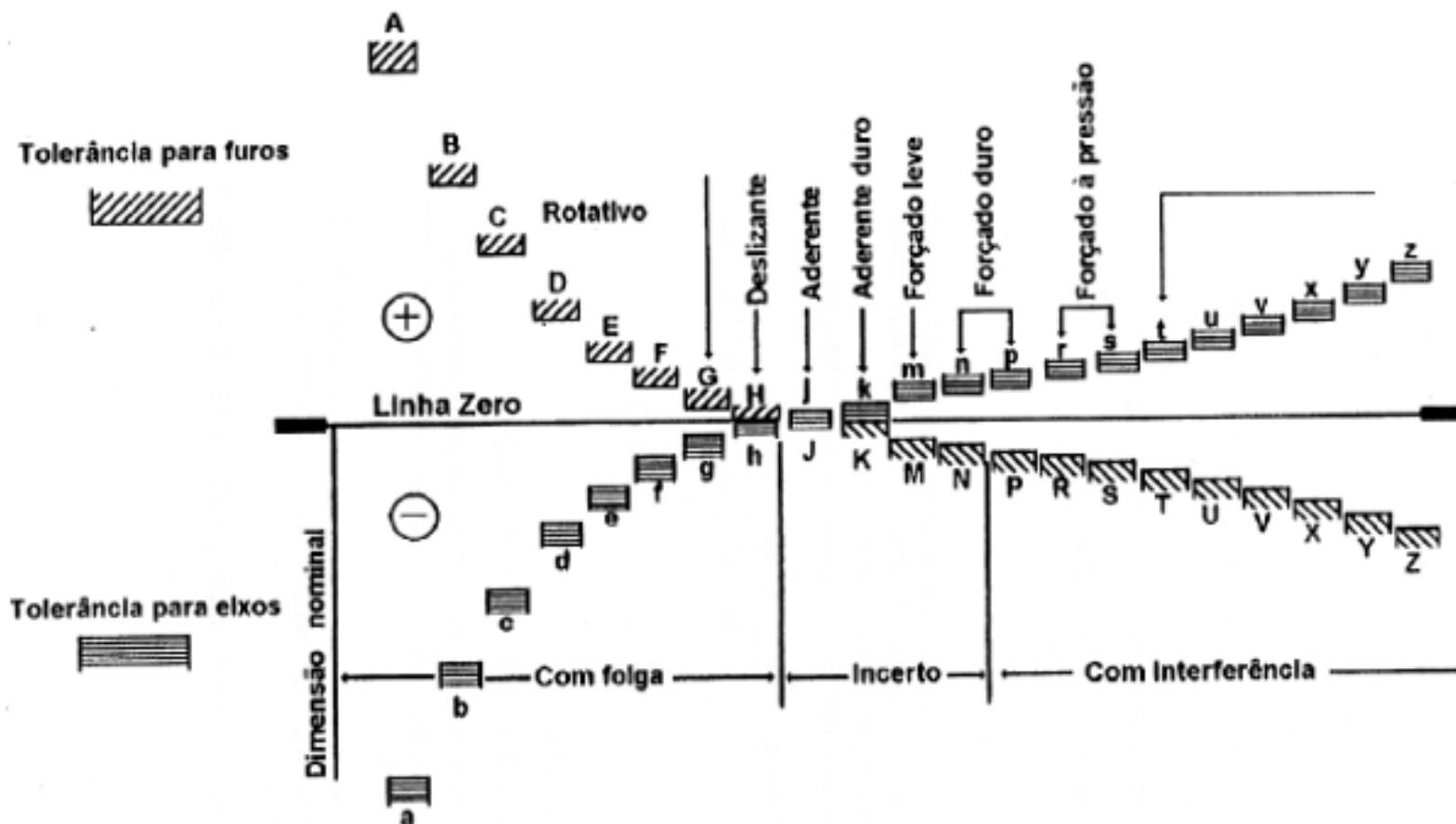
📌 Exemplo prático:
40H7, 40G7, 40K7

🎯 Exemplo completo de ajuste

- **40H7 / 40h6** → ajuste com folga (muito usado)
- **40H7 / 40k6** → ajuste de transição
- **40H7 / 40p6** → ajuste com interferência



Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158





Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

◆ O que mostra essa figura?

Ela representa a **posição dos campos de tolerância ISO** em relação à **linha zero (dimensão nominal)**.

🔍 Linha Zero

É a **dimensão nominal** da peça.

Acima dela → valores positivos

Abaixo dela → valores negativos

◆ Parte Superior (letras maiúsculas)

São os **furos**.

Mostra onde cada campo (A, B, C... H, K, P...) fica em relação à linha zero.

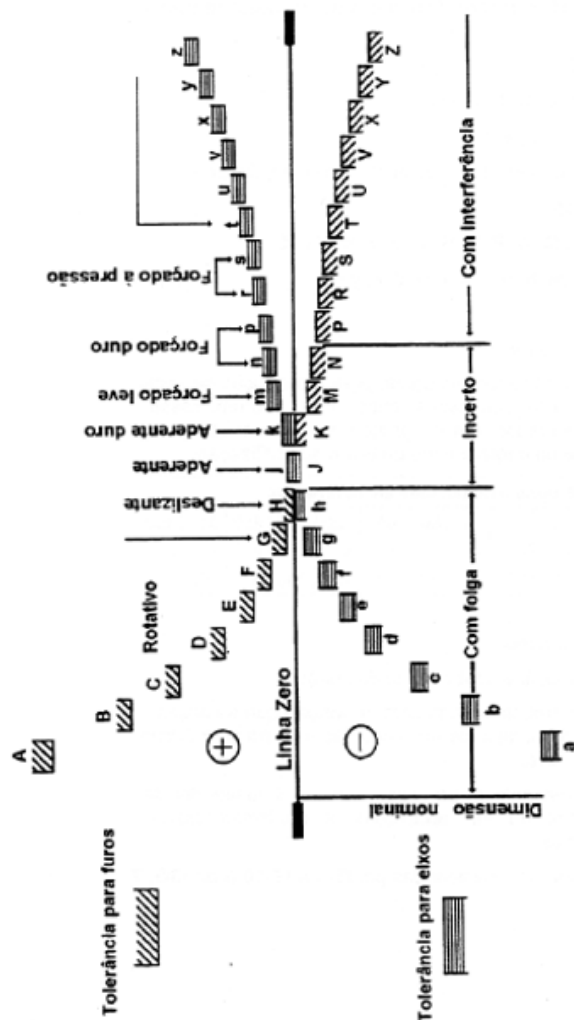
◆ Parte Inferior (letras minúsculas)

São os **eixos**.

Também mostra a posição da zona de tolerância.

◆ Regiões indicadas

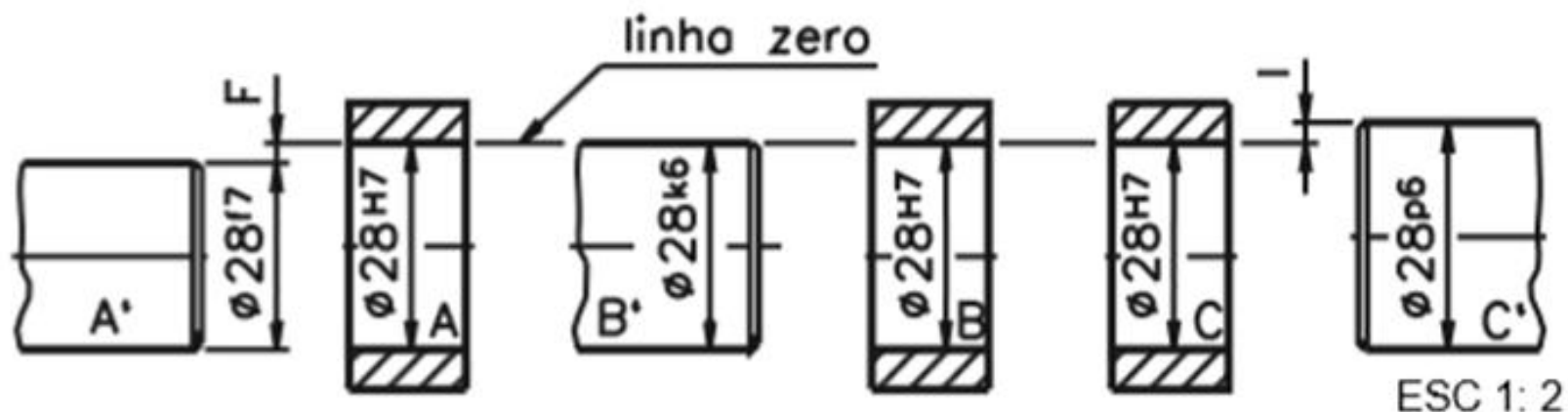
- **Com folga** → eixo sempre menor que o furo
- **Incerto (transição)** → pode haver folga ou interferência
- **Com interferência** → eixo sempre maior que o furo





Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

- **Sistema furo-base:** É o sistema onde as tolerâncias dos **furos** são fixos e os eixos variam.



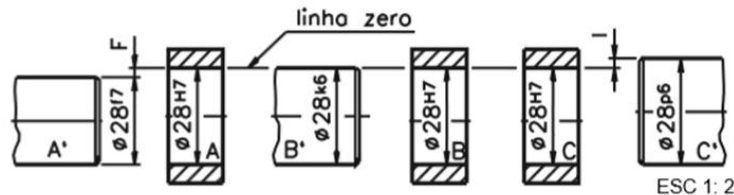
- Os sistemas furo-base recomendados pela ABNT são:

H5 / H6 / H7 / H8 / H11



Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

- **Sistema furo-base:** É o sistema onde as tolerâncias dos **furos** são fixos e os eixos variam.



- Os sistemas furo-base recomendados pela ABNT são: **H5 / H6 / H7 / H8 / H11**

◆ Sistema Furo-Base

No **sistema furo-base**, o **furo é fixo** (normalmente H) e quem varia é o **eixo**.

✚ O furo “H” tem afastamento inferior igual a zero (ele começa na linha zero).

🔍 O que muda?

Para obter diferentes tipos de ajuste (folga, transição ou interferência), alteramos apenas o campo do eixo: (O número **7** indica a **qualidade do trabalho**, que no caso corresponde à mecânica recorrente.)

- **H7 / h6** → folga
- **H7 / k6** → transição
- **H7 / p6** → interferência

◆ Por que usar esse sistema?

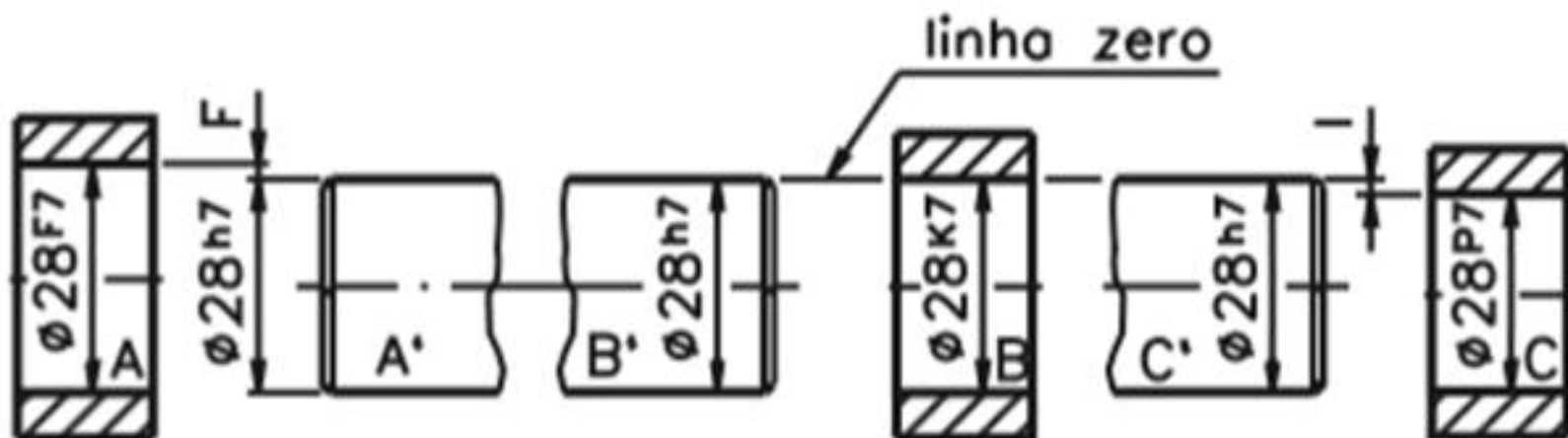
Porque é mais fácil padronizar ferramentas de usinagem de furos (brocas, alargadores, mandris).

✚ **Resumo:** No sistema furo-base, o furo permanece fixo e o tipo de ajuste é definido pela variação do eixo.



Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

- **Sistema eixo-base:** É o sistema onde as tolerâncias dos **eixos** são fixos e os furos variam.



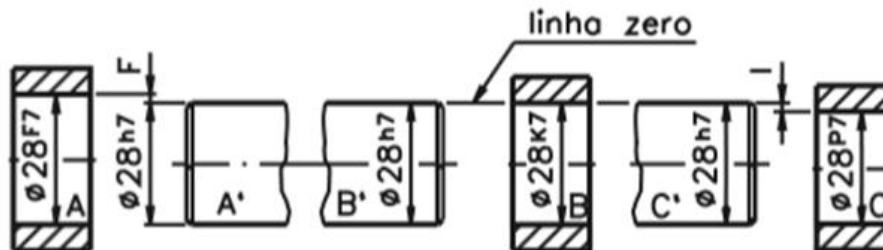
- Os sistemas furo-base recomendados pela ABNT são:

h5 / h6 / h7 / h8 / h9 / h11



Sistema de tolerância e ajustes ABNT / ISO NBR6158

- **Sistema eixo-base:** É o sistema onde as tolerâncias dos **eixos** são fixos e os furos variam.



- Os sistemas furo-base recomendados pela ABNT são: **h5 / h6 / h7 / h8 / h9 / h11**

◆ Sistema Eixo-Base

No **sistema eixo-base**, o **eixo é fixo** (normalmente “h”) e quem varia é o **furo**.

📌 O eixo “h” tem afastamento superior igual a zero (ele termina na linha zero).

🔍 O que muda?

Para obter diferentes ajustes (folga, transição ou interferência), alteramos apenas o campo do furo:

- **h7 / H7** → folga
- **h7 / K7** → transição
- **h7 / P7** → interferência

◆ Quando usar?

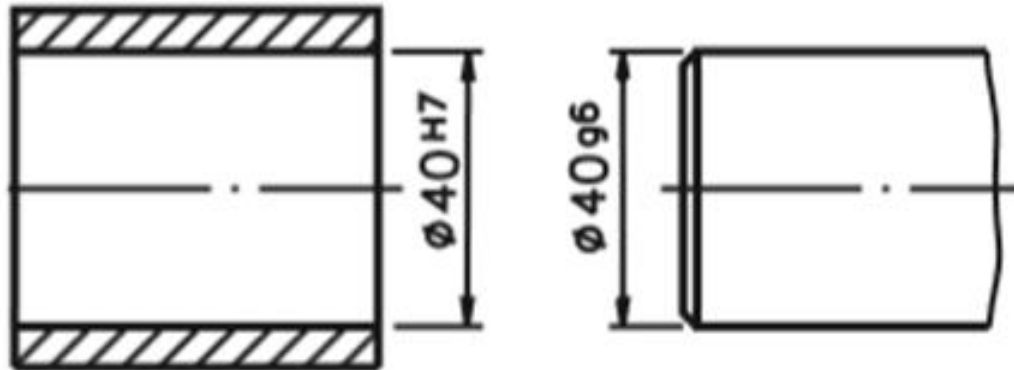
É utilizado quando o eixo já está padronizado e fica mais fácil variar o furo.

📌 **Resumo:** No sistema eixo-base, o eixo permanece fixo e o tipo de ajuste é definido pela variação do furo.



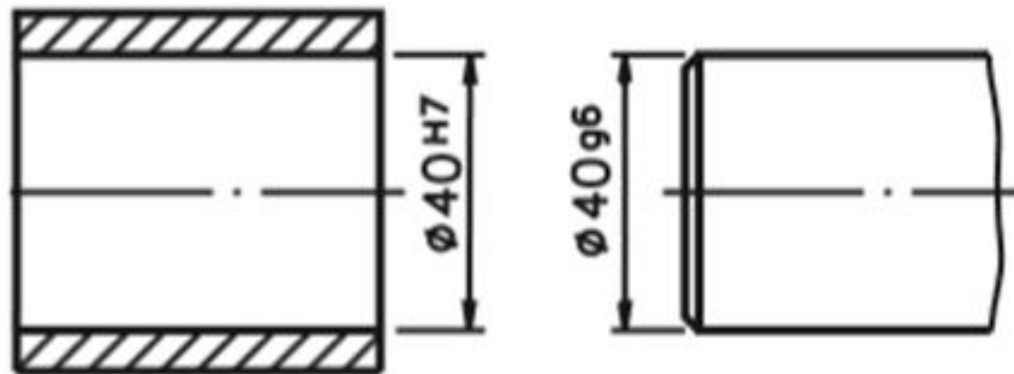
Interpretação de tolerância no sistema ABNT / ISO NBR6158

- Quando a tolerância vem indicada no sistema ABNT/ISO, os valores dos afastamentos não são expressos e existem tabelas apropriadas para identificá-los.
- Vamos entender o procedimento usando um exemplo:





Interpretação de tolerância no sistema ABNT / ISO NBR6158



- Neste desenho o diâmetro interno do furo é **40H7** e o diâmetro do eixo é **40g6**
- A grande pergunta: quanto vale o campo de tolerância para o furo (H) e para o eixo (g)?



Interpretação de tolerância no sistema ABNT / ISO NBR6158

- 1º passo: Utilizar a tabela chamada “**Ajustes recomendados-sistema furo-base H7.**”

Dimensão nominal mm		Furo ^{wt. int.} ^{wt. sup.}	EIXOS									afastamento superior afastamento inferior
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6	



Interpretação de tolerância no sistema ABNT / ISO NBR6158

- 2º passo: Localizar na primeira e segunda coluna da tabela a **dimensão nominal em mm**.

Que no exemplo o valor é 40,00 mm.

Dimensão nominal mm		Furo af. sup. af. inf.	EIXOS afastamento superior afastamento inferior									
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6	
30	40	0 +25	-25 -50	-9 -25	0 -16	+11 -5	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34	

O valor do campo de tolerância **H7** para o furo é:

Af. Sup = 0,025 mm

Af. Inf = 0,000 mm



Interpretação de tolerância no sistema ABNT / ISO NBR6158

- 3º passo: Localizar na coluna da tabela denominada “**EIXOS**” o código correspondente a tolerância ABNT / ISO.

Para o exemplo o código g6.

Dimensão nominal mm		Furo af. int. af. sup. 	EIXOS									afaetamento superior afaetamento inferior
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6	
30	40	0 +25	-25 -50	-9 -25	0 -16	+11 -5	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34	

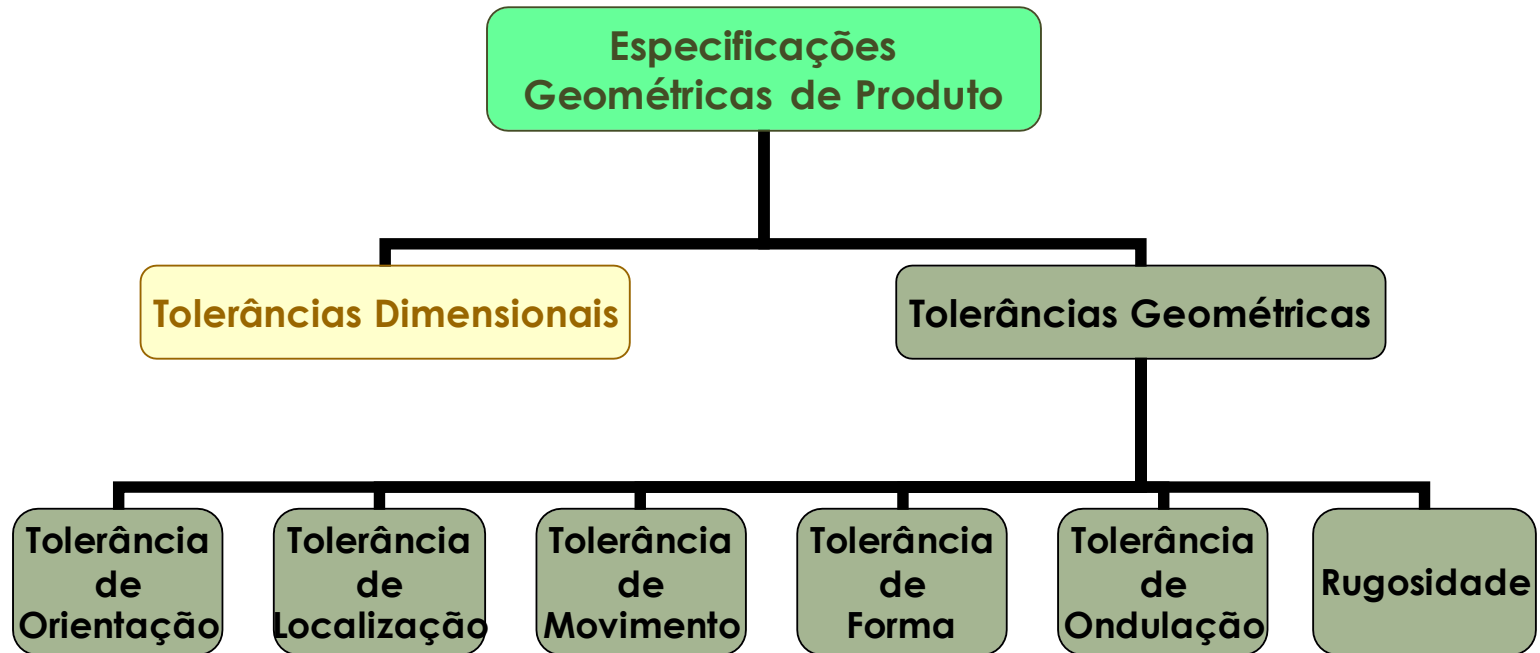
O valor do campo de tolerância **g6** para o eixo é:

Af. Sup = - 0,009 mm

Af. Inf = - 0,025 mm



Tipos de especificações geométricas





Tipos de especificações geométricas

◆ Especificações Geométricas de Produto (EGP)

Conjunto de requisitos que controlam **dimensão e geometria** da peça para garantir montagem e funcionamento correto.

Dividem-se em:

◆ 1) Tolerâncias Dimensionais

Controlam **o tamanho da peça** (diâmetro, comprimento, largura).

Definem a variação permitida entre dimensão máxima e mínima.

👉 Exemplo: $\varnothing 40 \pm 0,02$ mm

◆ 2) Tolerâncias Geométricas

Controlam **a forma e a posição da peça**, independentemente do tamanho.

O item 2 se dividem em:



Tipos de especificações geométricas

◆ **2) Tolerâncias Geométricas se dividem em:** (controlam a forma e a posição da peça, independentemente do tamanho:

◆ **Tolerância de Forma**

Controla a geometria da própria superfície.

Ex.: circularidade, planicidade, retitude.

👉 Verifica se a peça é realmente “redonda” ou “plana”.

◆ **Tolerância de Orientação**

Controla a inclinação entre elementos.

Ex.: paralelismo, perpendicularidade, angularidade.

👉 Garante alinhamento correto.

◆ **Tolerância de Localização**

Controla a posição em relação a um datum.

Ex.: posição verdadeira, concentricidade.

👉 Define onde a peça deve estar.

◆ **Tolerância de Movimento**

Controla variações durante rotação.

Ex.: batimento circular ou total.

👉 Muito usada em eixos rotativos.



Tipos de especificações geométricas

◆ 2) Tolerâncias Geométricas

Controlam a **forma e a posição da peça**, independentemente do tamanho.

Subdividem-se em (*Continuação...*):

◆ Tolerância de Ondulação

Controla irregularidades maiores da superfície (entre forma e rugosidade).

👉 Relacionada a vibrações na usinagem.

◆ Rugosidade

Controla a textura superficial microscópica.

Ex.: $R_a 1,6 \mu m$.

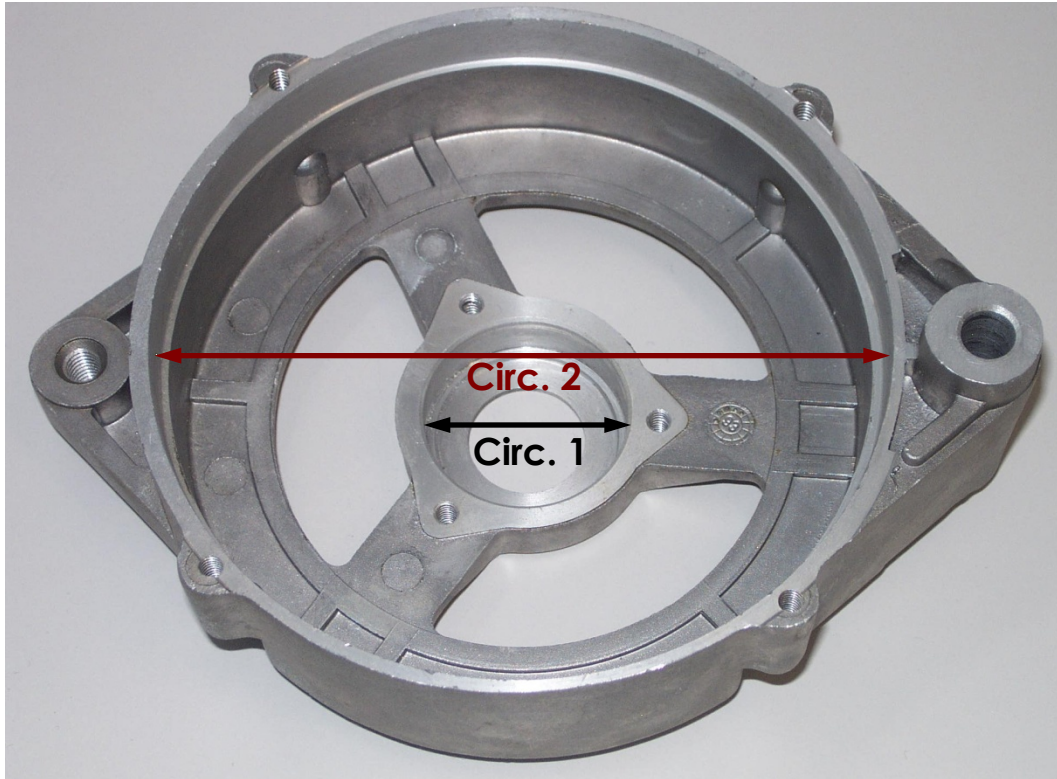
👉 Afeta atrito, vedação e desgaste.

🎯 Resumo:

- Dimensional → controla tamanho
- Geométrica → controla forma e posição
- Rugosidade → controla acabamento



Dimensão x forma



É suficiente com a especificação das tolerâncias dimensionais?





Dimensão x forma

◆ Dimensão x Forma

O slide mostra que **não basta controlar apenas as dimensões** da peça.

Mesmo que o diâmetro esteja dentro da tolerância, a peça pode apresentar **desvios de forma**, como:

- Ovalização
- Falta de circularidade
- Empenamento

A imagem da peça fundida ilustra essa **geometria real**.



O equipamento ao lado (máquina de medição) representa o controle da **forma geométrica**, além da dimensão.

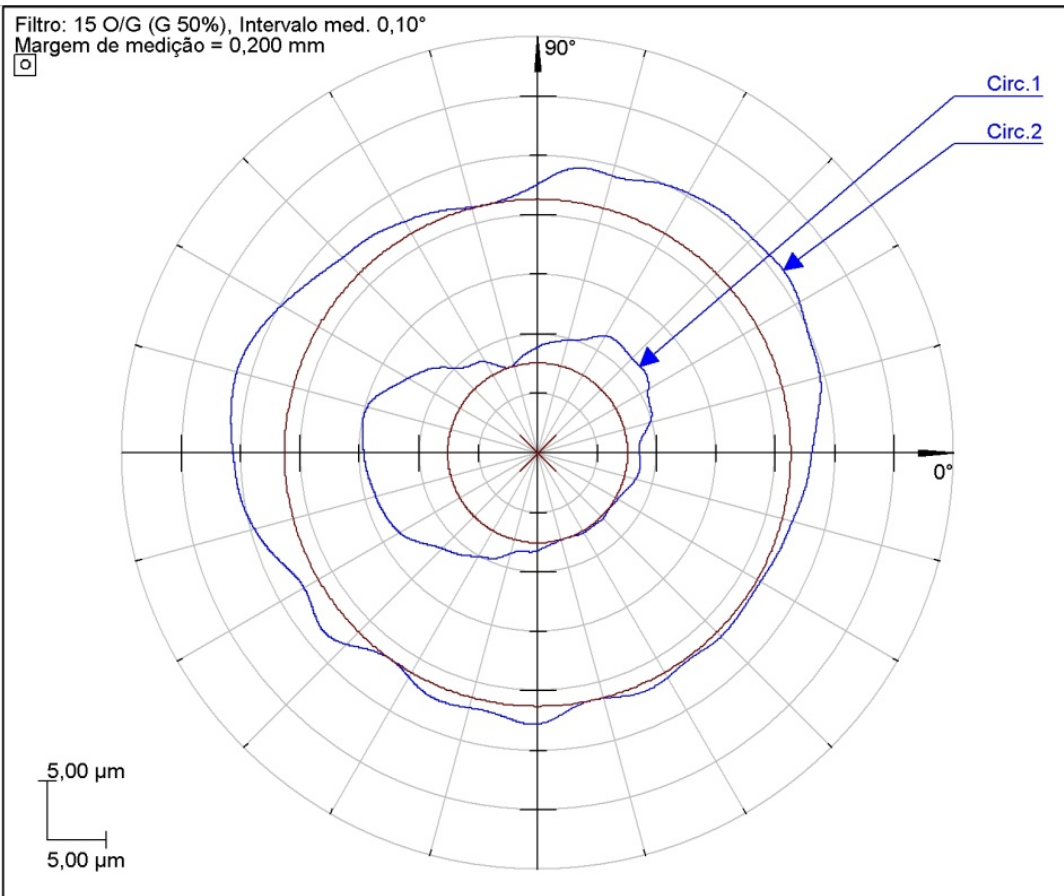
📌 Ideia principal do slide:

Uma peça pode estar correta em dimensão, mas incorreta em forma.

Por isso são necessárias tolerâncias geométricas além das dimensionais.



Geometrias reais



Perfil ou Tarefa	Posição [mm, °]	Resultado [μm] [Ø]:[mm]	Tolerância [mm]	Ref.	Referência	[μm]	Fase[°] Inc [μm/m]
Circ.1	79,00	7,39		MIC		0,71	75,56
Circ.2	72,00	4,93		MIC		1,27	38,30
Circ/11		7,39	0,0000	MIC			

◆ Geometrias Reais

O gráfico à esquerda mostra a **forma real de uma peça circular**, medida em vários pontos.

Mesmo que a dimensão nominal seja correta, a peça **não é perfeitamente circular**.

As curvas (Circ.1 e Circ.2) representam os desvios da forma ideal.

📌 Ideia principal:

Na prática, nenhuma peça é perfeitamente geométrica.

Sempre existem desvios, que precisam ser controlados por tolerâncias de forma (ex.: circularidade).

🔍 **Conclusão:** a dimensão correta não garante forma perfeita — por isso existem tolerâncias geométricas.



Causas do desvio de forma

- Material da peça: variação de dureza ou excesso de material pode gerar deformações;
- Máquina-ferramenta: falta de rigidez ou erro geométrico da máquina;
- Mão de obra: erro de alinhamento ou regulagem incorreta (pré-setup);
- Método: fixação inadequada pode deformar a peça durante a usinagem;
- Meio ambiente: aquecimento pode causar dilatação e alterar a forma.



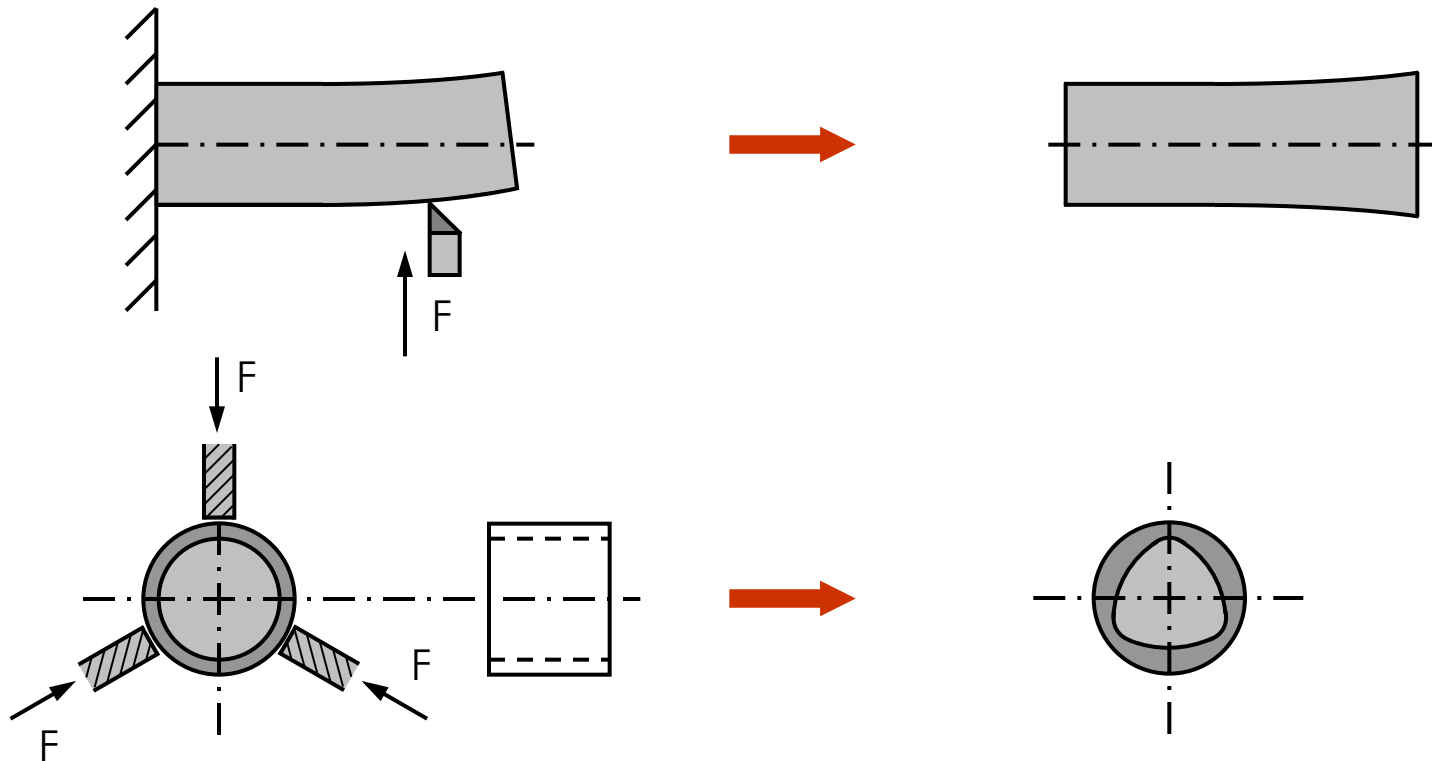
Ideia principal:

O desvio de forma é resultado do processo de fabricação, não apenas da dimensão nominal.



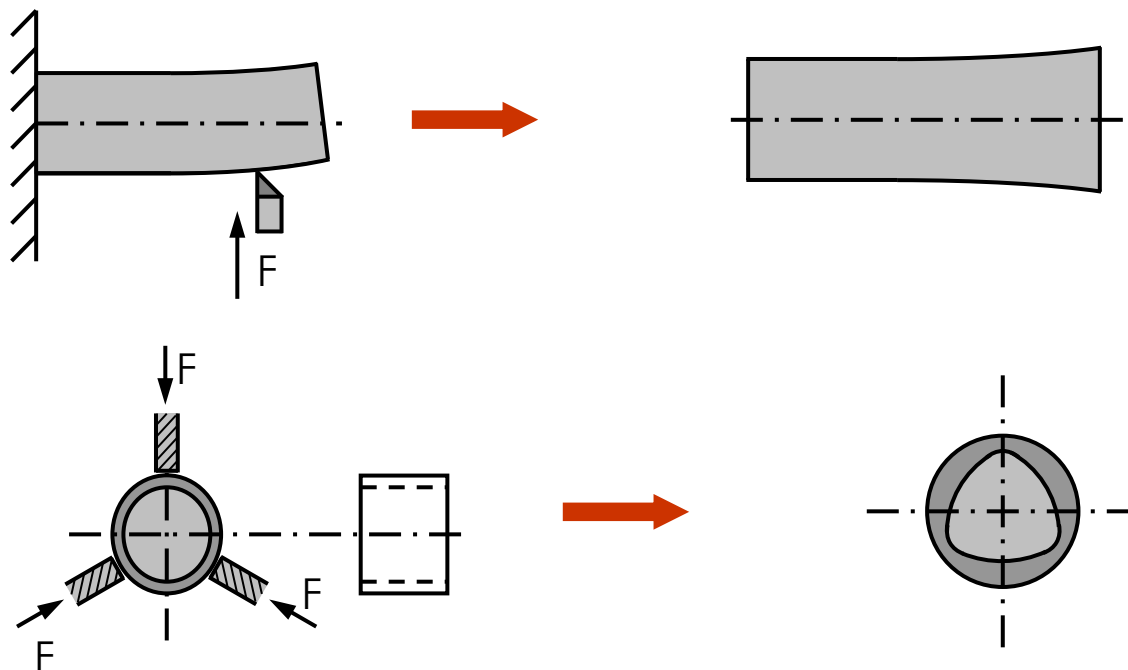
Causas do desvio de forma

Exemplo





Causas do desvio de forma



Parte superior:

A peça é fixada com força (F).

Essa força provoca **flexão ou deformação** durante a usinagem.

Quando a peça é solta, ela muda de forma.



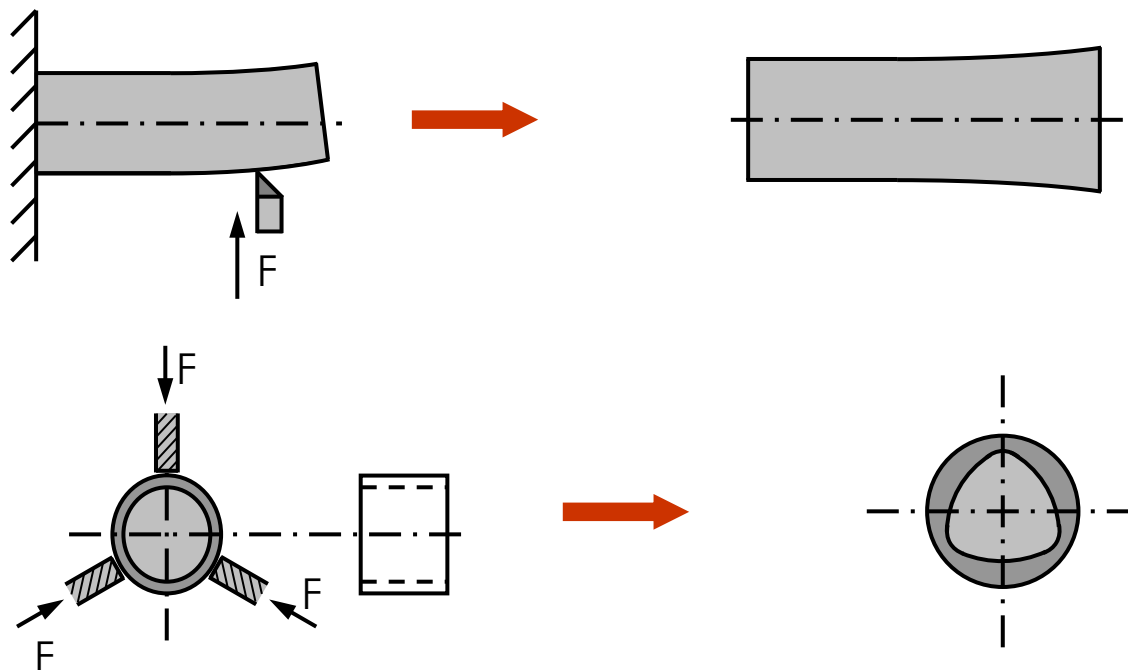
Parte inferior:

A fixação com três apoios também gera deformação temporária.

Após soltar, a peça pode ficar **ovalizada ou fora de forma**.



Causas do desvio de forma



Ideia principal:

A maneira como a peça é fixada pode gerar deformações e causar erro de forma, mesmo que a dimensão esteja correta.



Simbologia

Para elementos isolados		
Forma	Retitude	—
	Planeza	▱
	Circularidade	○
	Cilindricidade	⌀
	Forma de uma linha qualquer	⌒
	Forma de uma superfície qualquer	Ⓓ

Para elementos associados		
Orientação	Paralelismo	//
	Perpendicularidade	⊥
	Inclinação	∠
Posição	Posição de um elemento	⊕
	Concentricidade	◎
	Simetria	≡
Batimento		↗



Simbologia

Para elementos isolados		
Forma	Retitude	—
	Planeza	▱
	Circularidade	○
	Cilindricidade	⌀
	Forma de uma linha qualquer	⌒
	Forma de uma superfície qualquer	⌢

Para elementos isolados (Forma):

Controlam apenas a **forma da própria superfície**, sem referência a outro elemento.

Exemplos:

- Retitude
- Planeza
- Circularidade
- Cilindricidade

👉 Avaliam se a peça é realmente reta, plana ou circular.



Simbologia

Para elementos associados:

Dependem de um **datum** (referência).

◆ Orientação

- Paralelismo
- Perpendicularidade
- Inclinação

◆ Posição

- Posição verdadeira
- Concentricidade
- Simetria

◆ Movimento

- Batimento

👉 Controlam alinhamento, localização e comportamento em rotação.

Para elementos associados		
Orientação	Paralelismo	//
	Perpendicularidade	⊥
	Inclinação	∠
Posição	Posição de um elemento	⊕
	Concentricidade	⊙
	Simetria	≡
Batimento		↗



Simbologia

Para elementos isolados		
Forma	Retitude	—
	Planeza	▱
	Circularidade	○
	Cilindricidade	⌀
	Forma de uma linha qualquer	⌒
	Forma de uma superfície qualquer	Ⓓ

Para elementos associados		
Orientação	Paralelismo	//
	Perpendicularidade	⊥
	Inclinação	∠
Posição	Posição de um elemento	⊕
	Concentricidade	⊙
	Simetria	≡
Batimento		↗

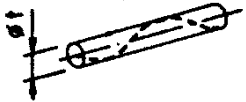
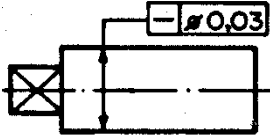
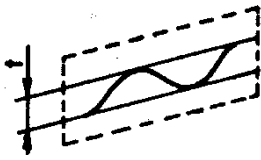
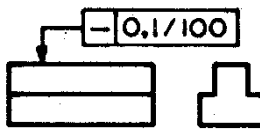
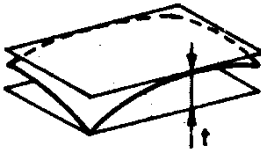
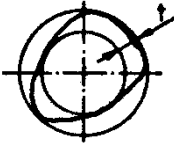
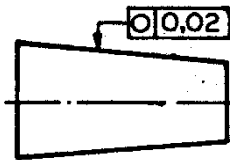


Ideia principal:

Esses símbolos indicam no desenho técnico qual característica geométrica deve ser controlada.

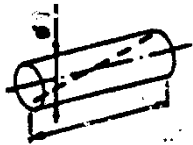
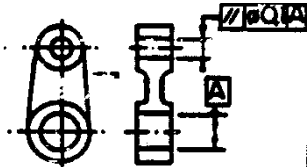
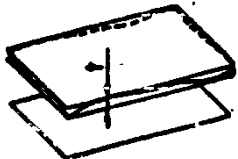
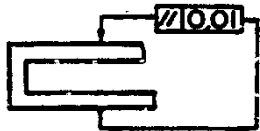
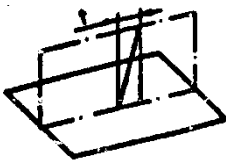
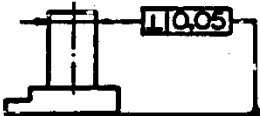
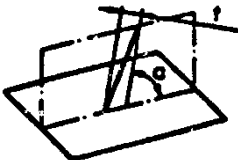
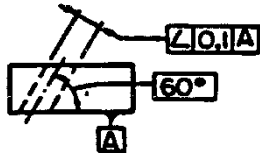


Tolerância de forma

Característica			Campo de tolerância	Exemplo	Descrição
Tolerância de Forma	—	Eixo			O eixo do elemento cilíndrico do pino deve situar-se dentro de um cilindro com diâmetro $t = 0,03\text{mm}$.
	Retitude	Contorno			Qualquer linha de comprimento 100mm do elemento plano indicado, deve situar-se entre duas retas paralelas distanciadas de $t = 0,1\text{mm}$.
					A superfície tolerada deve situar-se entre dois planos paralelos distanciados de $t = 0,05\text{mm}$.
					A linha de contorno de qualquer secção deverá estar contida na área do anel de espessura $t = 0,02\text{mm}$.

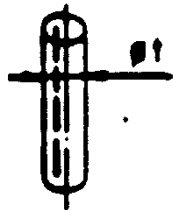
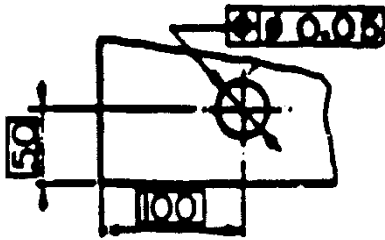
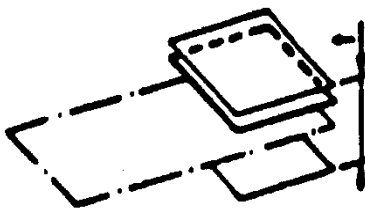
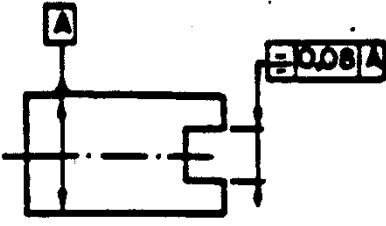
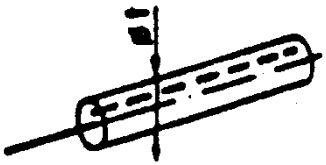
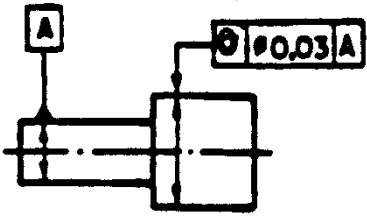


Tolerância de orientação

Característica		Campo de tolerância	Exemplo	Descrição
Tolerância de Orientação	//			O eixo superior deve situar-se internamente à um cilindro de diâmetro $t = 0,1\text{mm}$, paralelo ao eixo inferior (de referência).
	Paralelismo			A superfície real deve situar-se entre dois planos paralelos à superfície de referência e distantes entre si de $t = 0,01\text{mm}$.
	⊥ Perpendicularidade			O eixo do componente deve situar-se entre dois planos ortogonais à superfície de referência, distantes entre si de $t = 0,05\text{mm}$.
	∠ Inclinação			O eixo do furo deve situar-se entre dois planos distanciados de $t = 0,01\text{mm}$ e paralelos à um plano inclinado à 60° em relação ao plano de referência.



Tolerância de orientação

Característica		Campo de tolerância	Exemplo	Descrição
Tolerância de Posição	 Posição de um elemento			O eixo do furo deve situar-se no interior de um cilindro com diâmetro $t = 0,05\text{mm}$, cujo eixo situa-se na posição geométrica ideal (cotas em molduras) do furo.
	 Simetria			O plano médio do rasgo deve situar-se entre dois planos paralelos distanciados de $t = 0,08\text{mm}$, posicionados simetricamente em relação ao plano médio do elemento de referência.
				O eixo do elemento com tolerância deve situar-se no interior de um cilindro com diâmetro $t = 0,03\text{mm}$ cujo eixo está alinhado com o eixo do elemento de referência.