



EPRI004 - Laboratório de Metrologia

Aula 01 - Controle Geométrico e Condições Ambientais (REDUZ.)

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

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

2026.1

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Importância de Medir

A **metrologia** é a ciência que estuda a medição e desempenha um papel fundamental em diversas áreas da nossa vida. Vamos explorar sua importância:

1. No Cotidiano:

- I. **Produtos no Supermercado:** O preço dos produtos que compramos é baseado em seu peso.
- II. **Abastecimento de Veículos:** O volume de combustível abastecido nos veículos é medido.
- III. **Contas de Internet e Telefone:** Nossas contas são calculadas com base em nosso consumo mensal.
- IV. **Decisões de Compra:** Ao comparar preço, tamanho ou utilidade de produtos, estamos ponderando com base em medidas.



Importância de Medir

2. Na Saúde:

- I. **Equipamentos Médicos:** A metrologia garante a precisão de equipamentos como termômetros, balanças e medidores de pressão.
- II. **Dosagem de Medicamentos:** Medir corretamente as doses de medicamentos é crucial para a saúde dos pacientes.



Importância de Medir

3. Na Indústria:

- I. **Controle de Qualidade:** A metrologia assegura que os produtos atendam aos padrões de qualidade.
- II. **Calibração de Instrumentos:** A calibração regular de equipamentos de medição garante precisão e confiabilidade.
- III. **Inovação e Segurança:** Contribui para reduzir desperdícios, melhorar a confiabilidade das medições e garantir a segurança no ambiente de trabalho.

Em resumo, a metrologia está presente em todos os lugares, desde o supermercado até a indústria, e é essencial para nossa qualidade de vida e bem-estar.





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:

1. As medidas de comprimento são essenciais para quantificar distâncias e dimensões em nosso mundo.

2. Elas nos permitem comparar tamanhos, calcular áreas e volumes, e são amplamente utilizadas em diversas áreas.

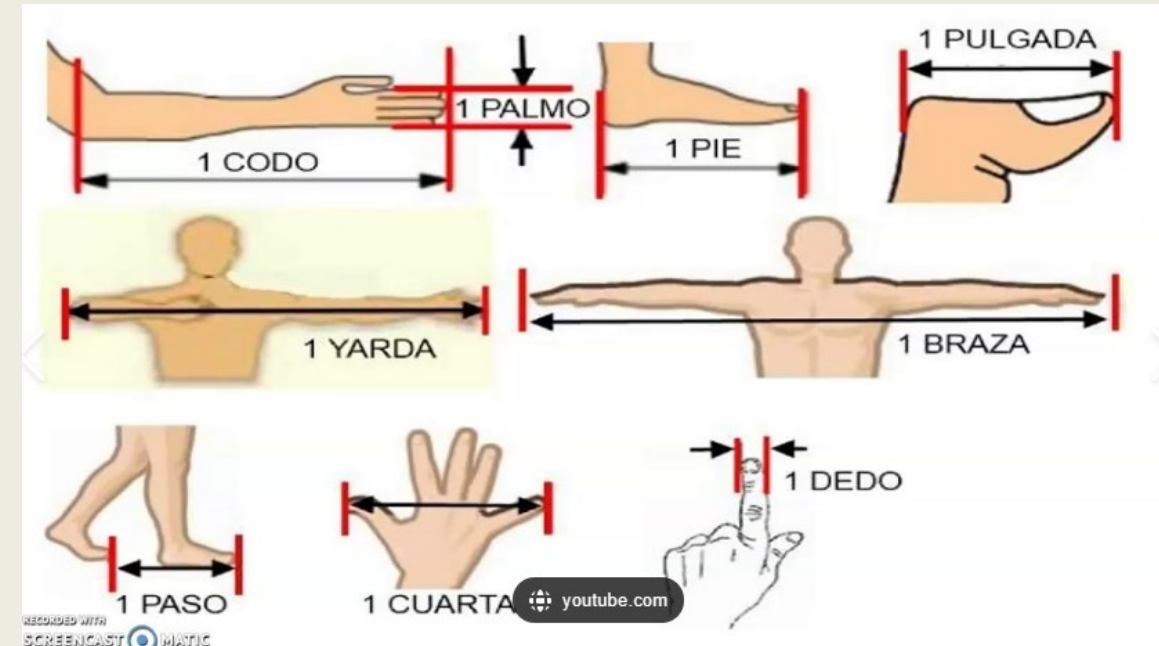
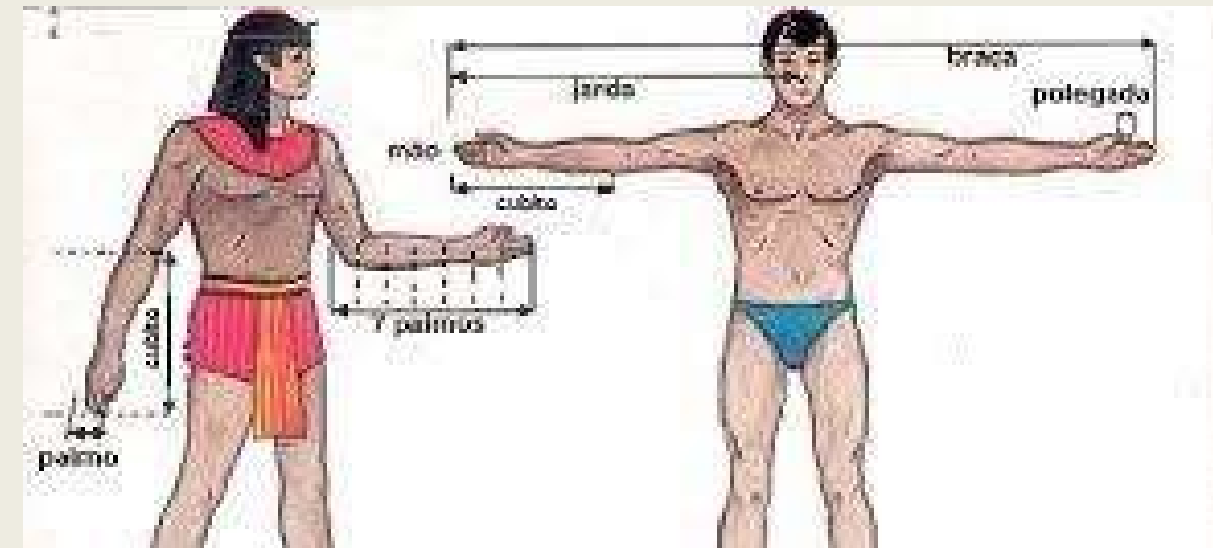
Ex.:

i. Metro (m): Quilômetro (km): $1 \text{ km} = 1000 \text{ metros}$. Hectômetro (hm): $1 \text{ hm} = 100 \text{ metros}$. Decâmetro (dam): $1 \text{ dam} = 10 \text{ metros}$.

ii. Submúltiplos do metro: Decímetro (dm): $1 \text{ dm} = 0,1 \text{ metro}$;

Centímetro (cm): $1 \text{ cm} = 0,01 \text{ metro}$. Milímetro (mm): $1 \text{ mm} = 0,001 \text{ metro}$.

iii. Outras unidades de medida de comprimento: polegada (tela de notebook), palmo (objetos maiores) e pé (altura de aviões).



$1 \text{ polegada} = 2,54 \text{ cm}$
 $1 \text{ pé} = 30,48 \text{ cm}$
 $1 \text{ jarda} = 91,44 \text{ cm}$



Controle Geométrico

1. **Dimensão**: Refere-se às medidas que caracterizam um objeto ou componente, como comprimento, largura, altura e espessura.
2. **Comprimento**: É a medida linear de um objeto em uma direção específica, como a distância entre dois pontos em uma régua.
3. **Ângulo**: Representa a inclinação ou desvio entre duas linhas ou superfícies, medido em graus ou radianos.
4. **Forma**: Descreve a configuração geral de um objeto, podendo ser esférica, cúbica, cilíndrica, etc.
5. **Circularidade**: Avalia o quão próximo um círculo está de sua forma ideal, medindo a variação da circunferência em relação ao círculo perfeito.
6. **Cilindricidade**: Refere-se à qualidade de um objeto cilíndrico, avaliando se a superfície do cilindro é uniforme e paralela ao eixo.
7. **Retilidade**: Verifica se uma linha ou superfície é reta, medindo desvios em relação a uma linha ideal.
8. **Planeza**: Avalia o quão plana é uma superfície, medindo desvios em relação a um plano ideal.



Controle Geométrico

9. **Perpendicularidade**: Indica se duas linhas ou superfícies são perpendiculares entre si, medindo o ângulo entre elas.
10. **Rugosidade**: Refere-se às irregularidades microscópicas na superfície de um objeto, sendo medida para garantir qualidade e funcionalidade.
11. **Posição**: Envolve a localização de um objeto em relação a um sistema de coordenadas ou a outros objetos.
12. **Coordenadas**: São valores numéricos que especificam a posição de um ponto em um sistema de referência, como coordenadas cartesianas (x, y, z) ou coordenadas geográficas (latitude, longitude).
13. **Posicionamento**: Avalia a precisão da posição de um objeto em relação a um conjunto de tolerâncias, incluindo desvios de localização, orientação e alinhamento.

Esses conceitos são fundamentais para garantir a qualidade, precisão e conformidade de produtos e processos industriais.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

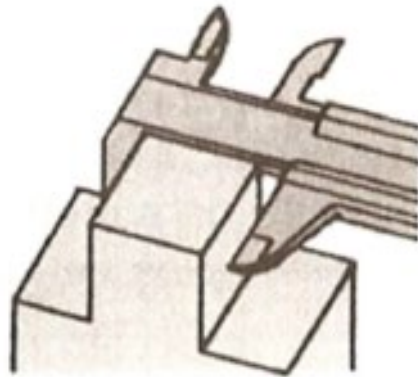
- Paquímetros (analógico e digital)



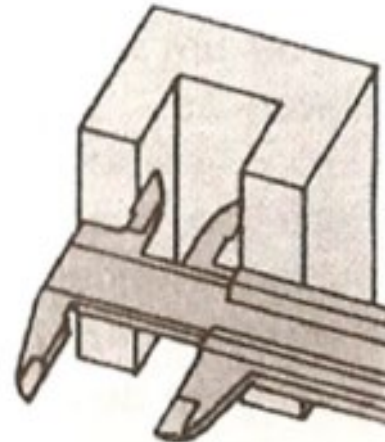
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Paquímetros (analógico e digital)

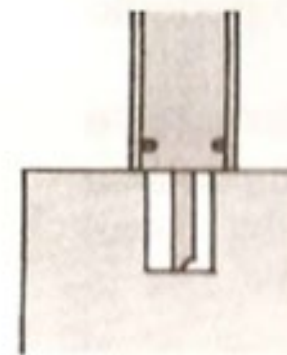
Quatro recursos de acesso ao lugar da medida (quadrimensional)



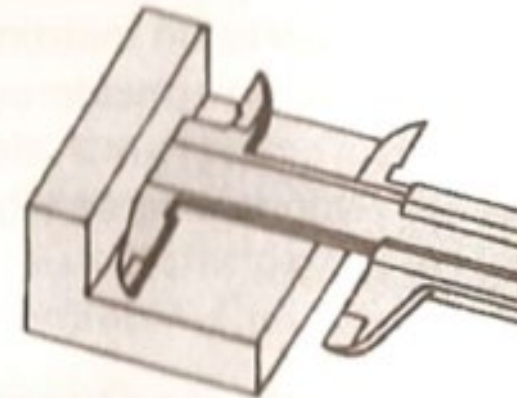
1. Medição externa



2. Medição interna



3. Medição de Profundidade

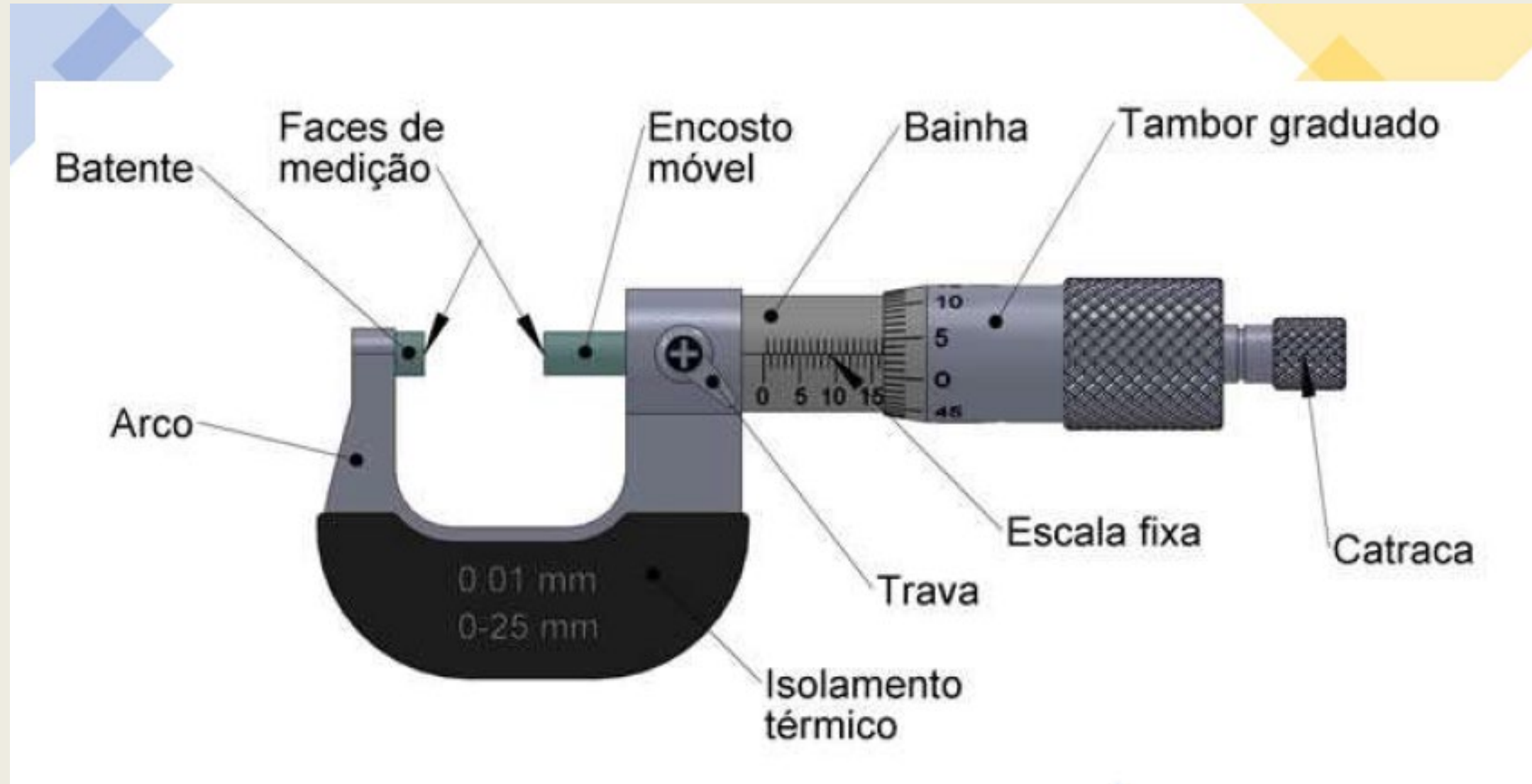


4. Medição de altura de Ressalto



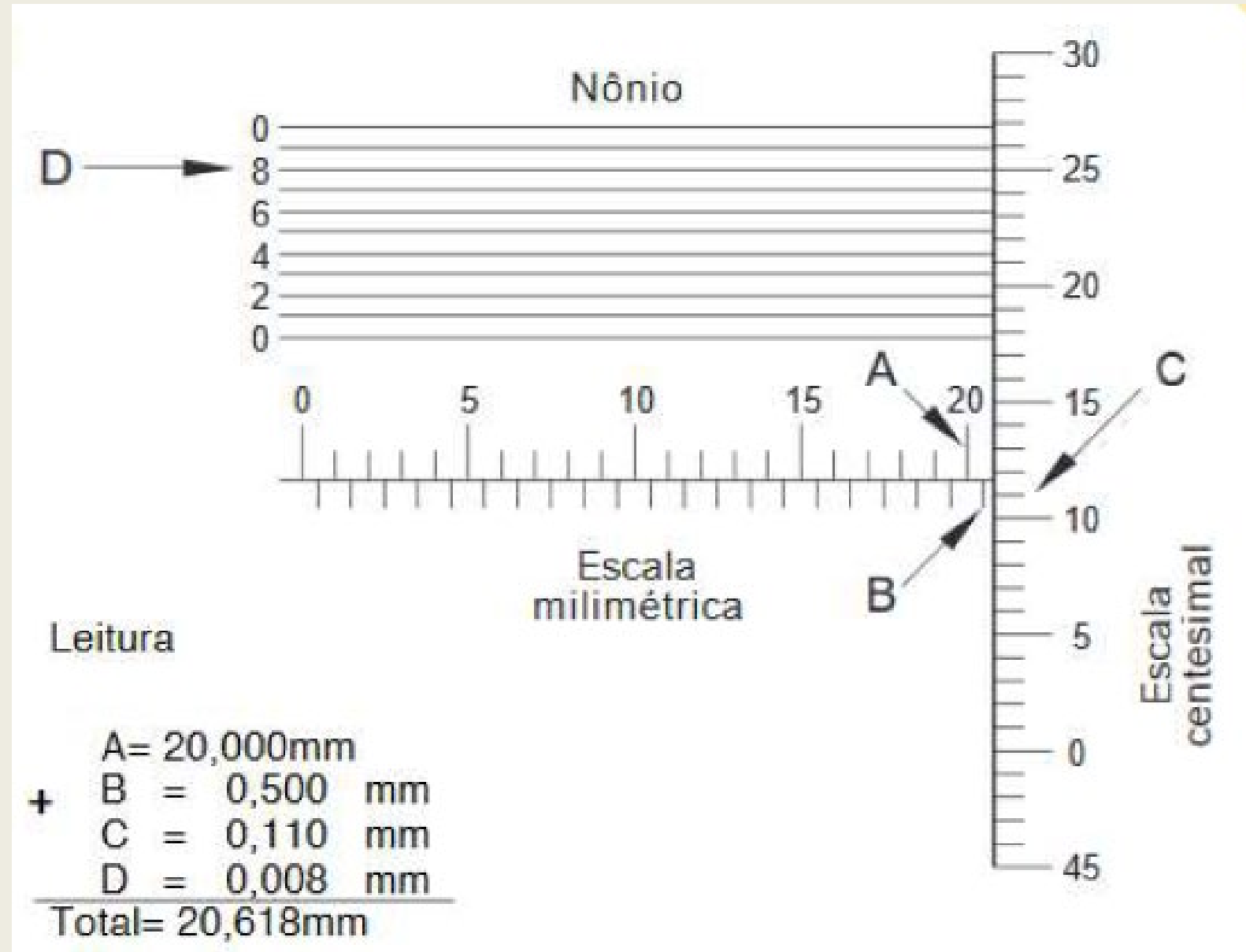
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Micrômetros (analógico e digital)**



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Micrômetros (analógico e digital)



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; e

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



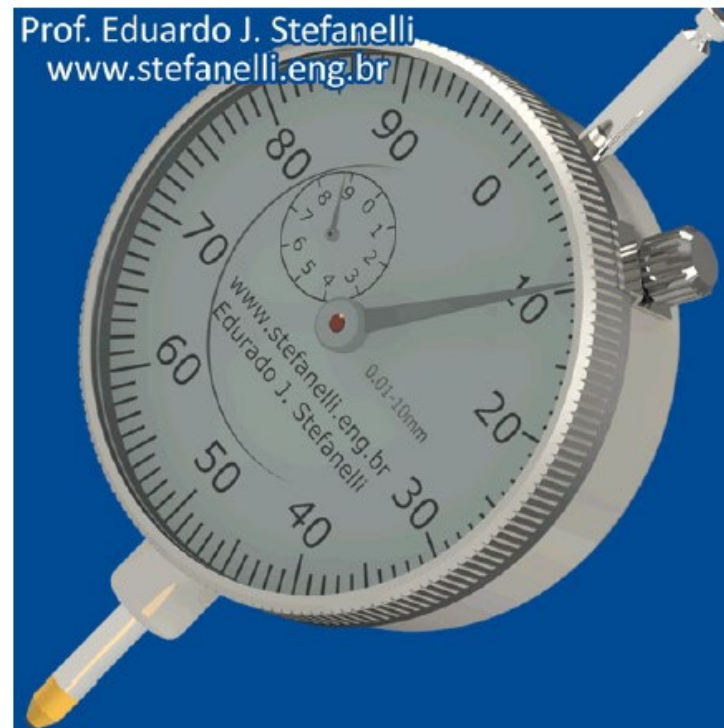
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- 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)



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)

Relógio com indicador digital



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

(i)

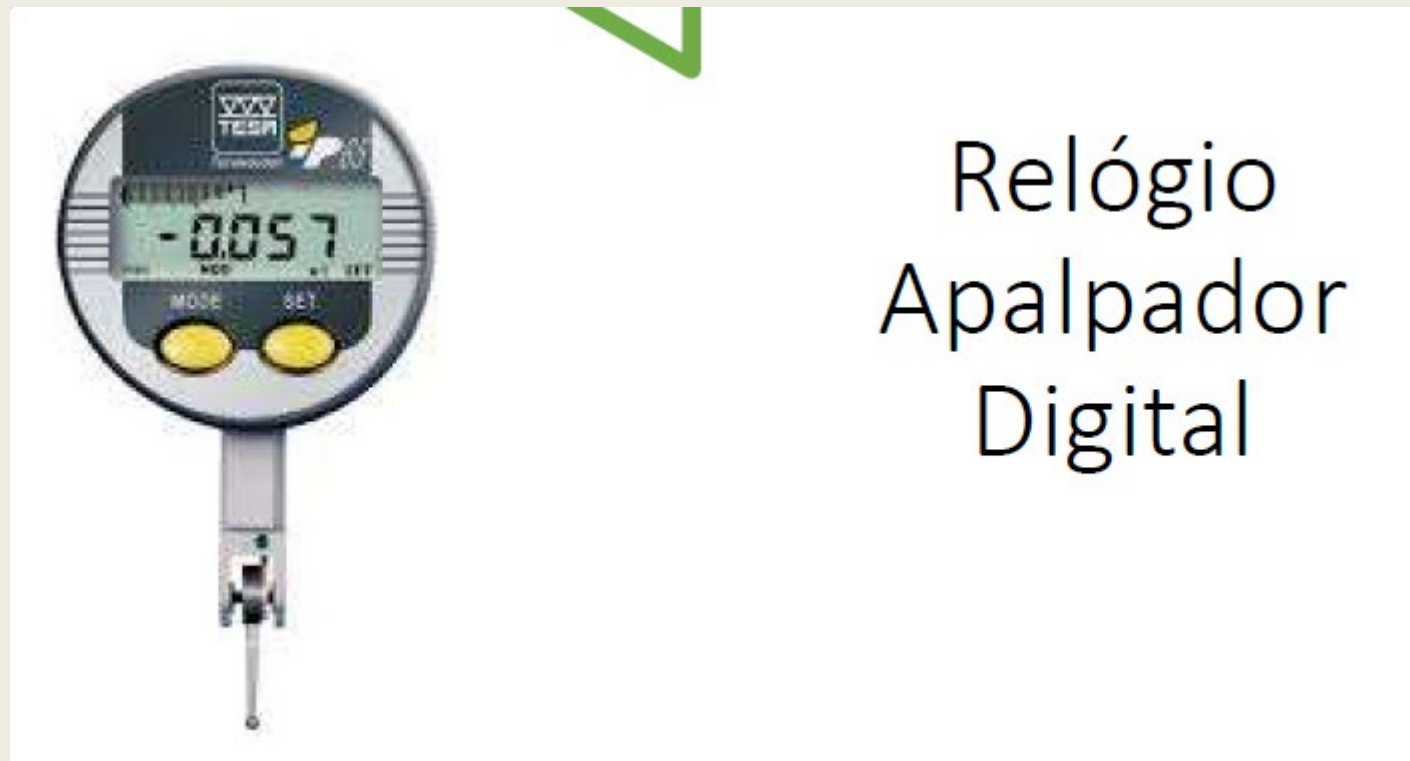


Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- 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)



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



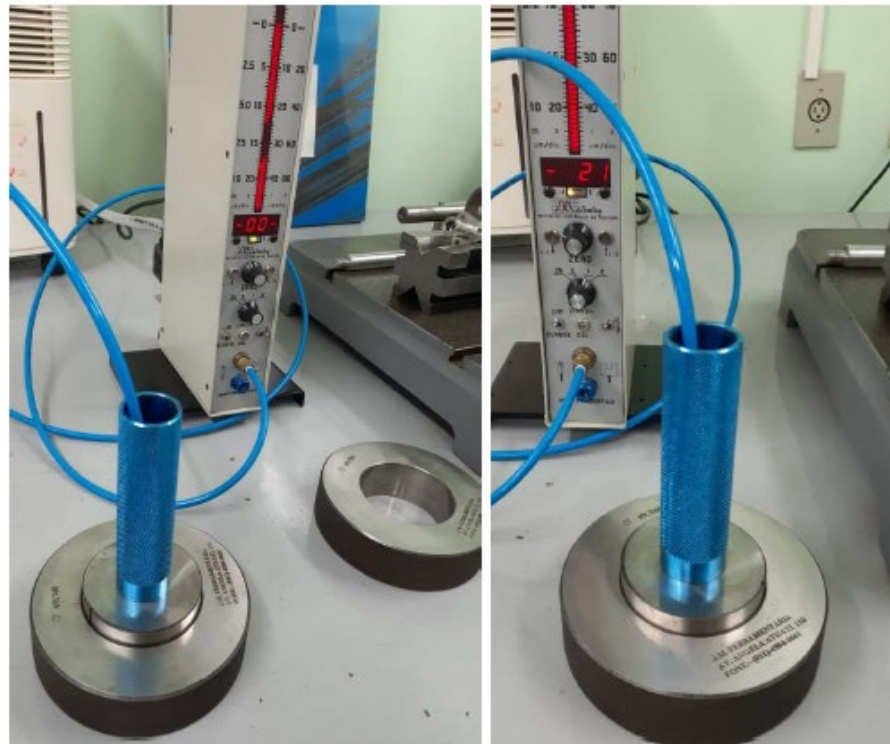
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- 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



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Goniômetros ou Transferidores de Ângulos

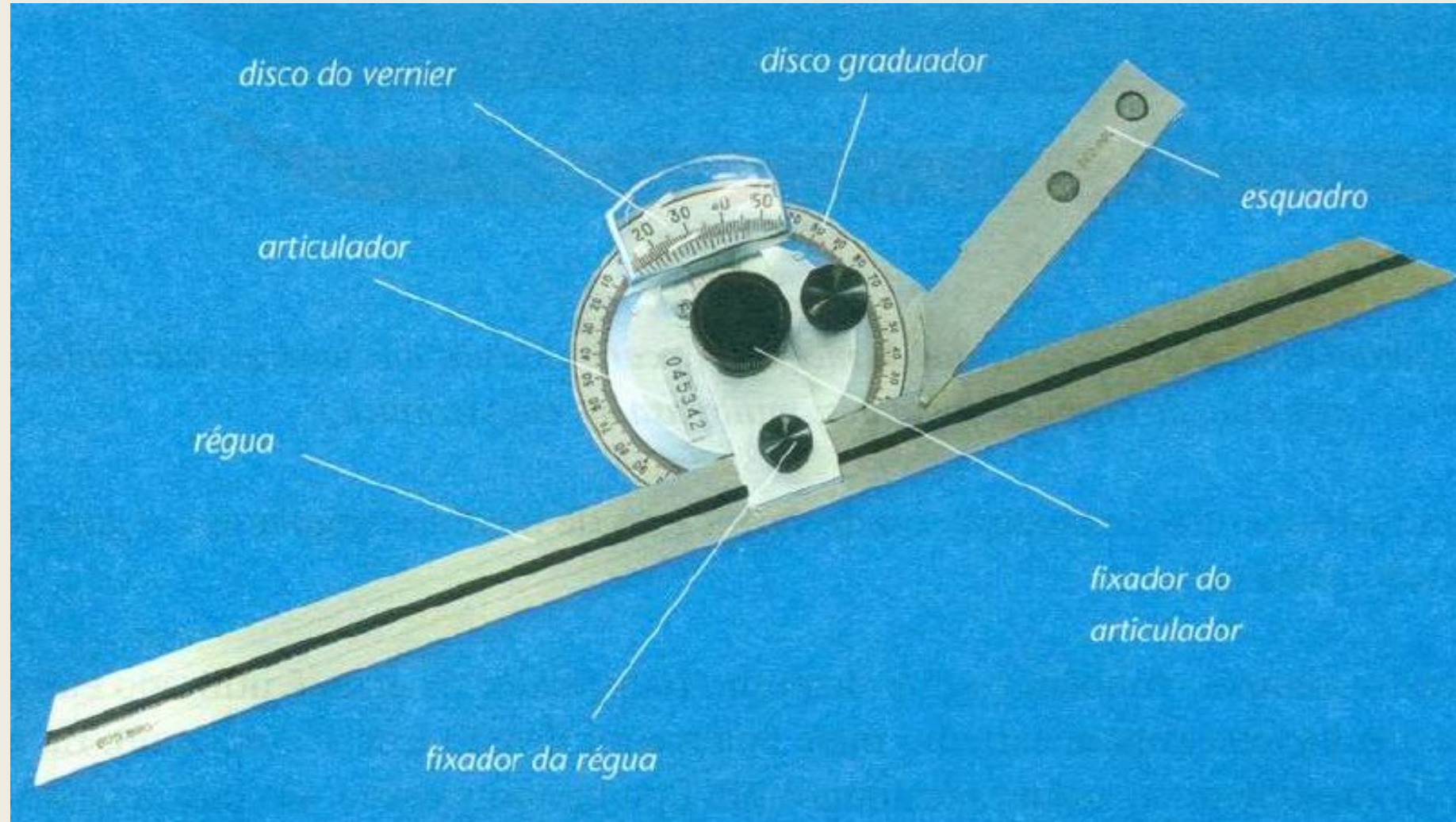


Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI



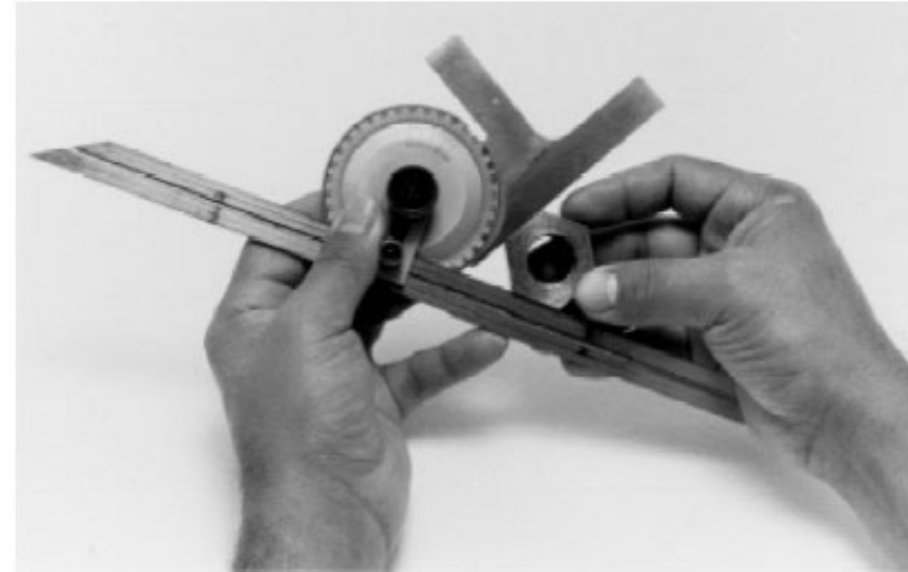
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Goniômetros ou Transferidores de Ângulos



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Goniômetros ou Transferidores de Ângulos

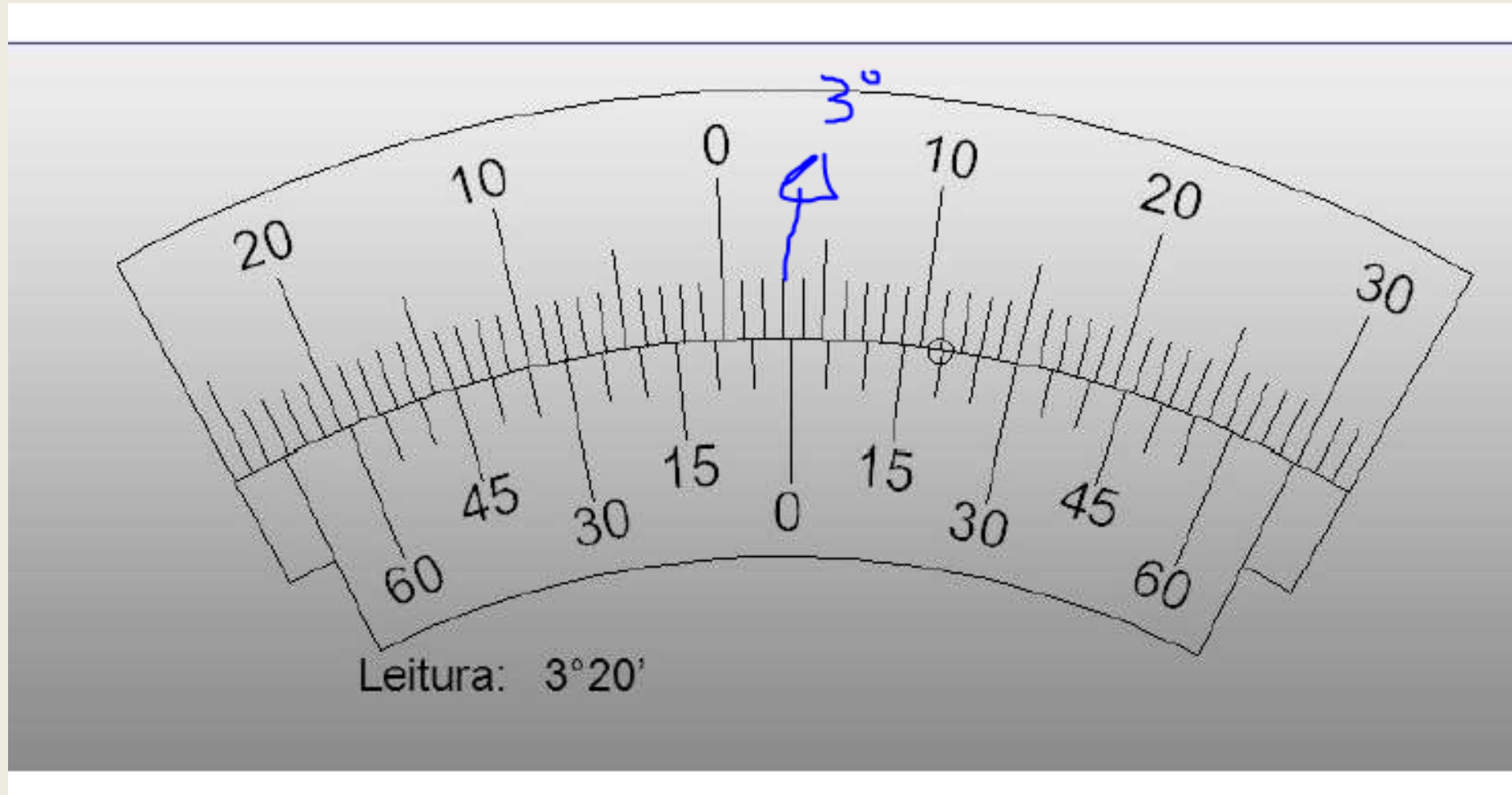


Aplicações



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

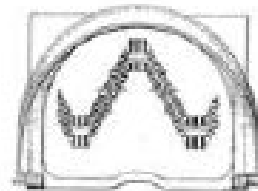
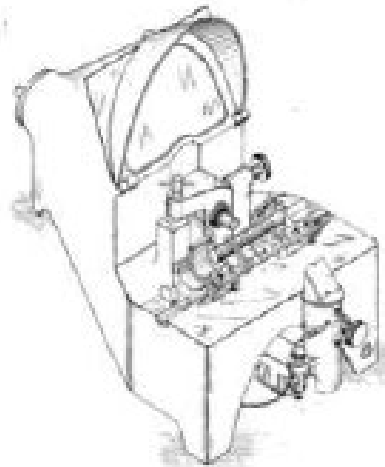
- Goniômetros ou Transferidores de Ângulos



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



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

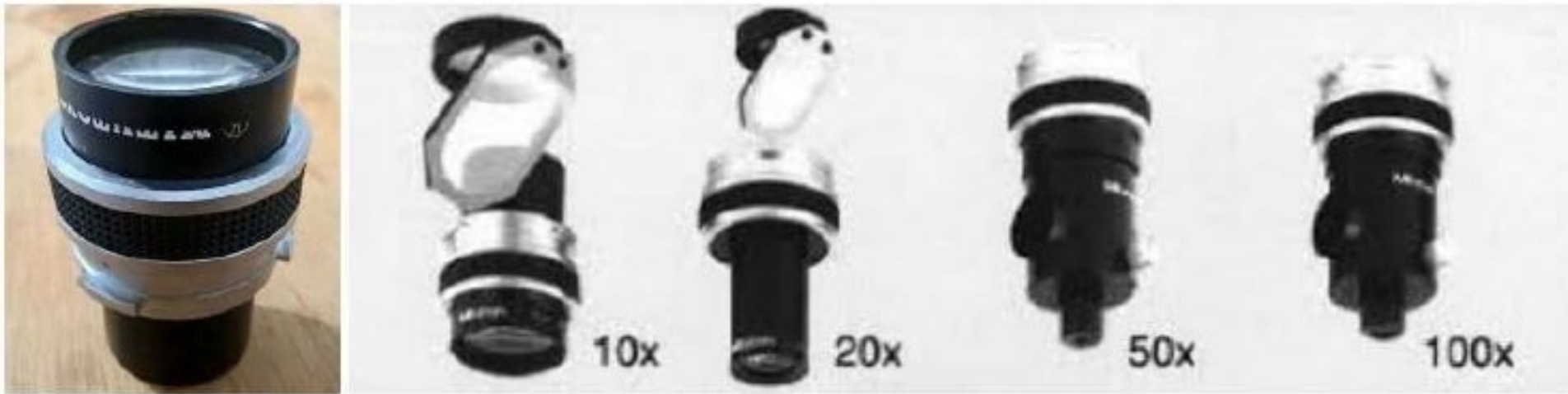
- **Projetores de Perfis**



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Projetores de Perfis**

Objetivas



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **Projetores de Perfis**

Projeção Diascópica (Contorno)



Sistemas de Medição e padrões

(em negrito vamos estudar)

- **Projetores de Perfis**

Projeção Episcópica (Superfície)

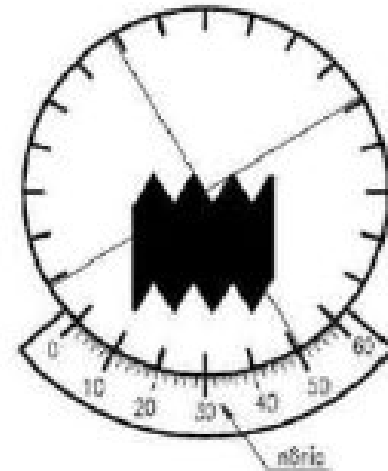


Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **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 (resumo)
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.

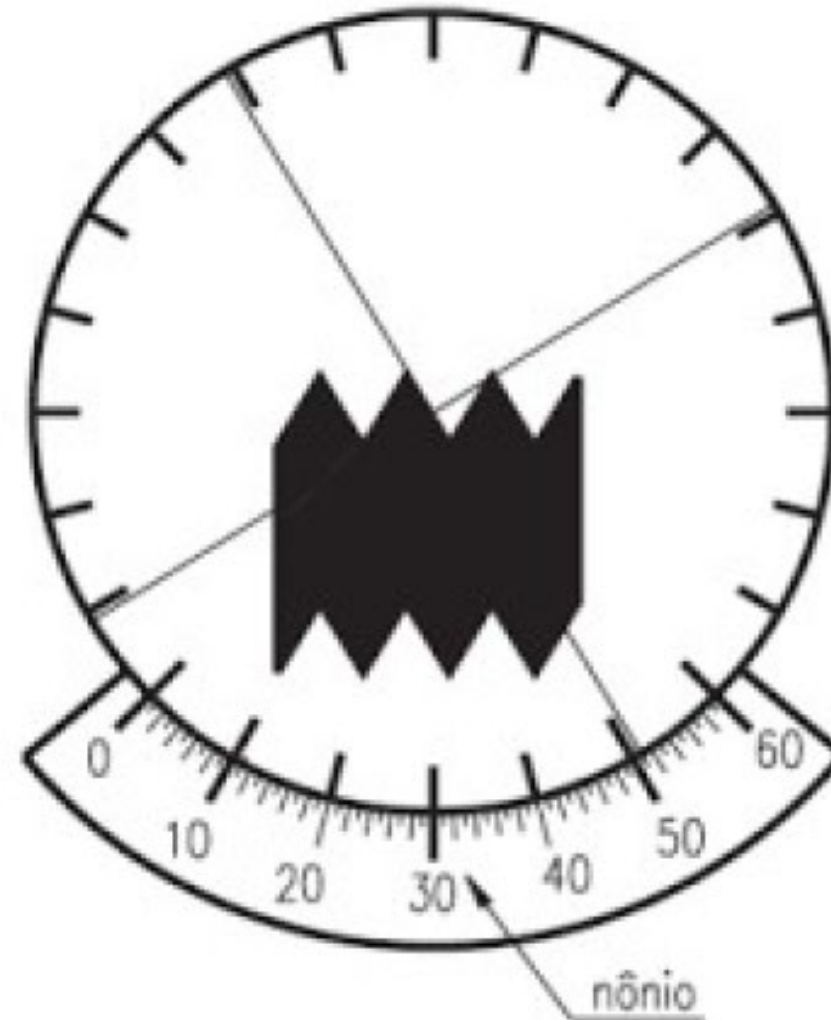
A base possui **guia com ajuste fino e travamento**, permitindo deslocamento controlado.

👉 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



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



Medição de
Rugosidade



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno

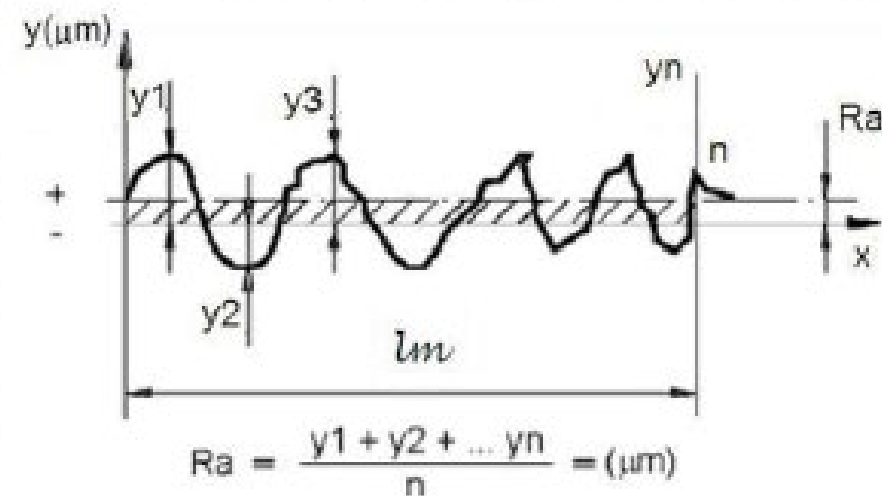
PARÂMETROS DE AMPLITUDE

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

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

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



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



- 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, liagem, 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



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



Rugosímetros
Portáteis



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



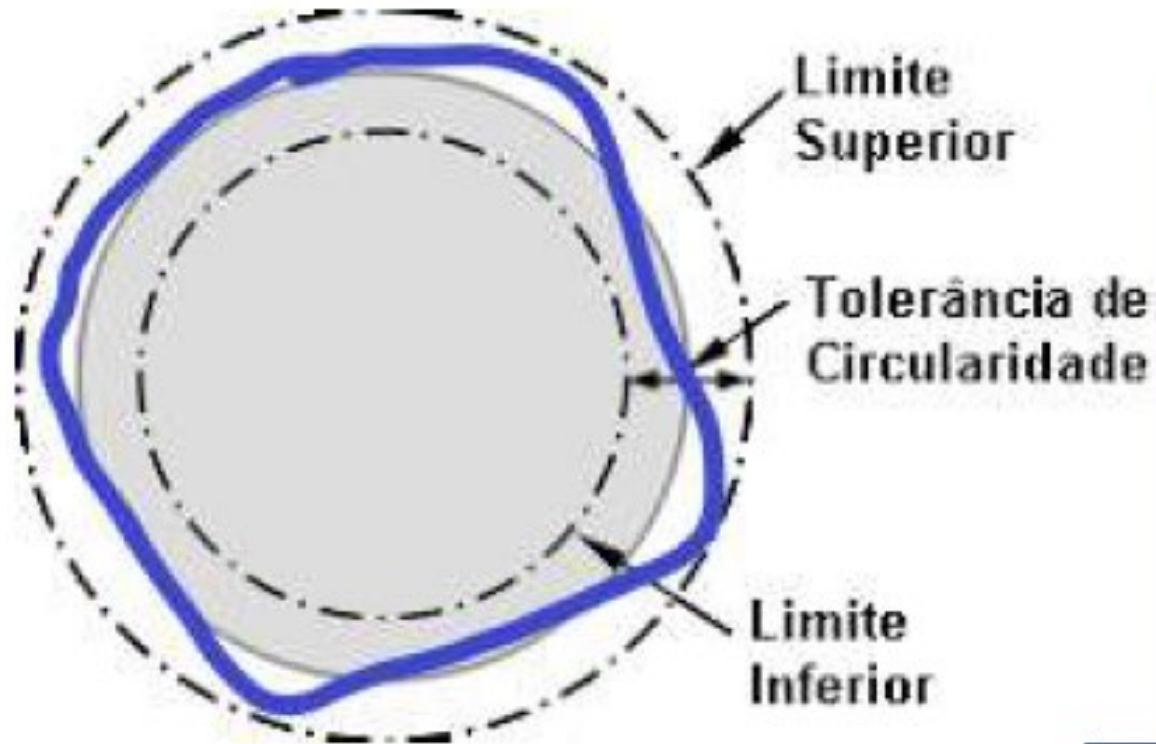
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno



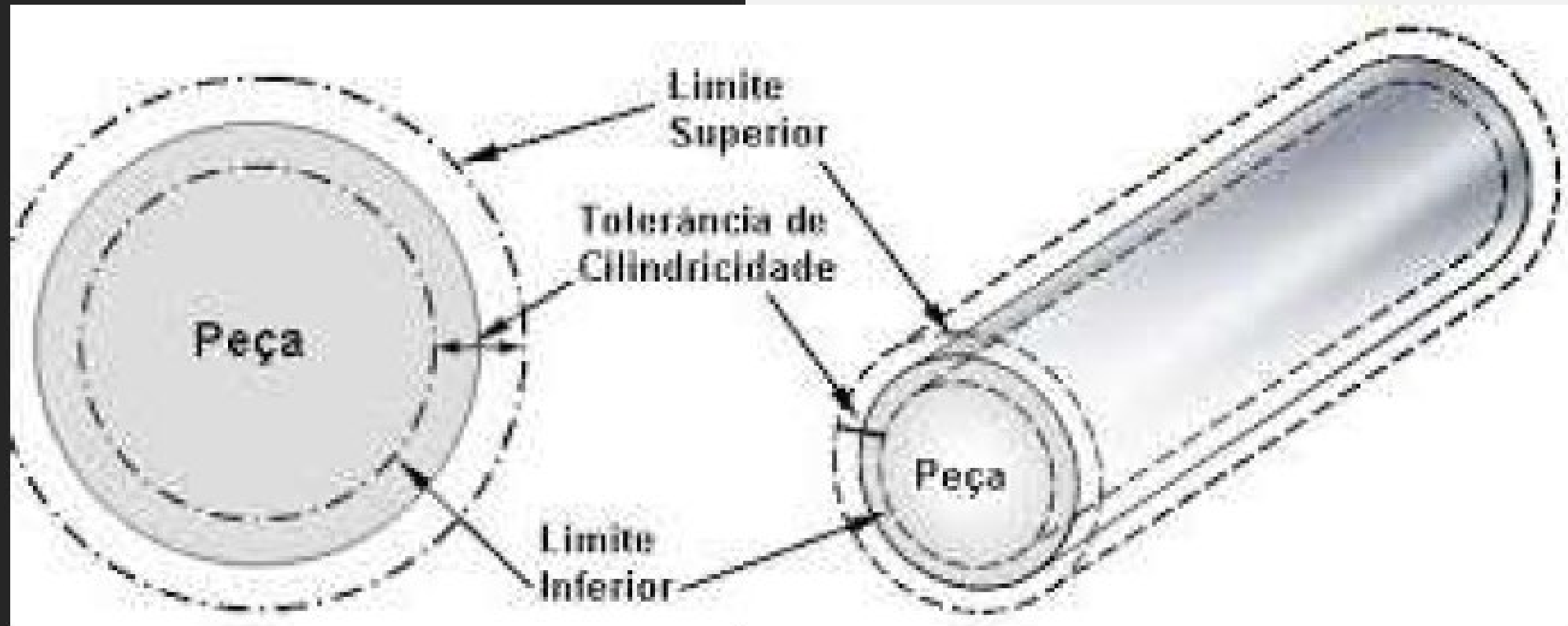
Desvio de
Circularidade



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Sistema de Medição de Rugosidade, Forma e Contorno

Desvio de Cilindricidade



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, cilindridade, etc.)
- Analisar **contorno de peças**

O sistema possui:

- **Coluna vertical** para movimentação do palpador
- **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.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

◆ 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** (retilidade) ou alinhamento superficial da peça.

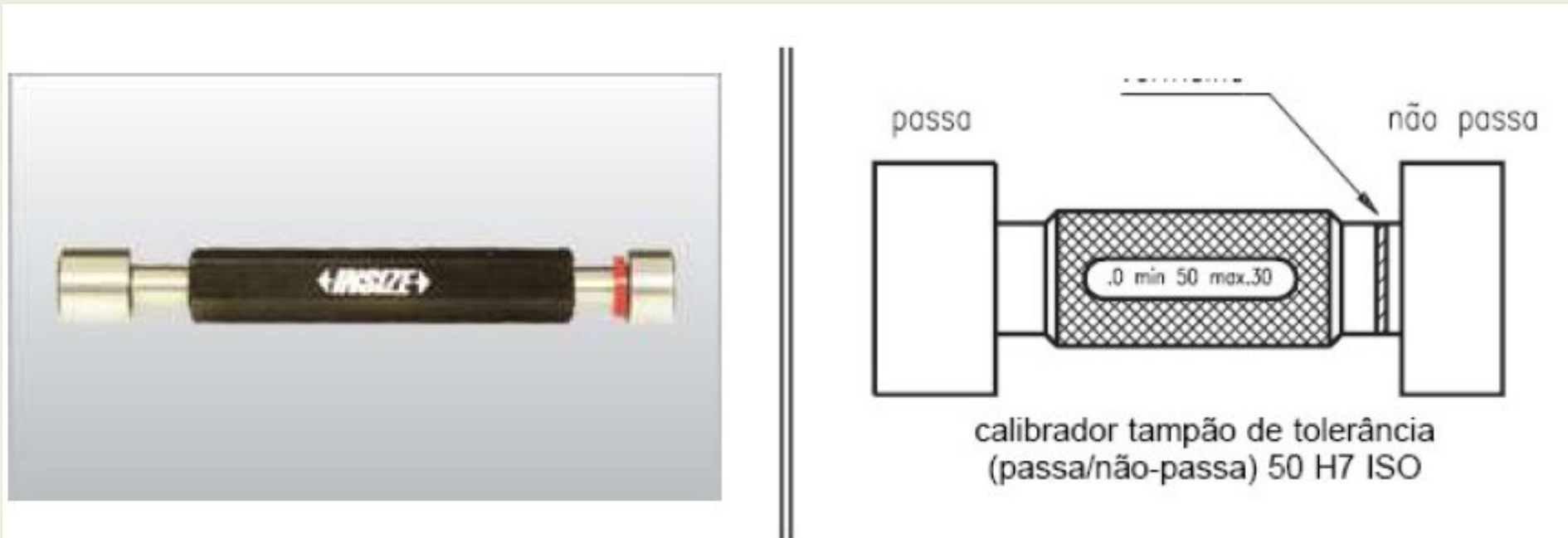
◆ Esquadros

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°)



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°)



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

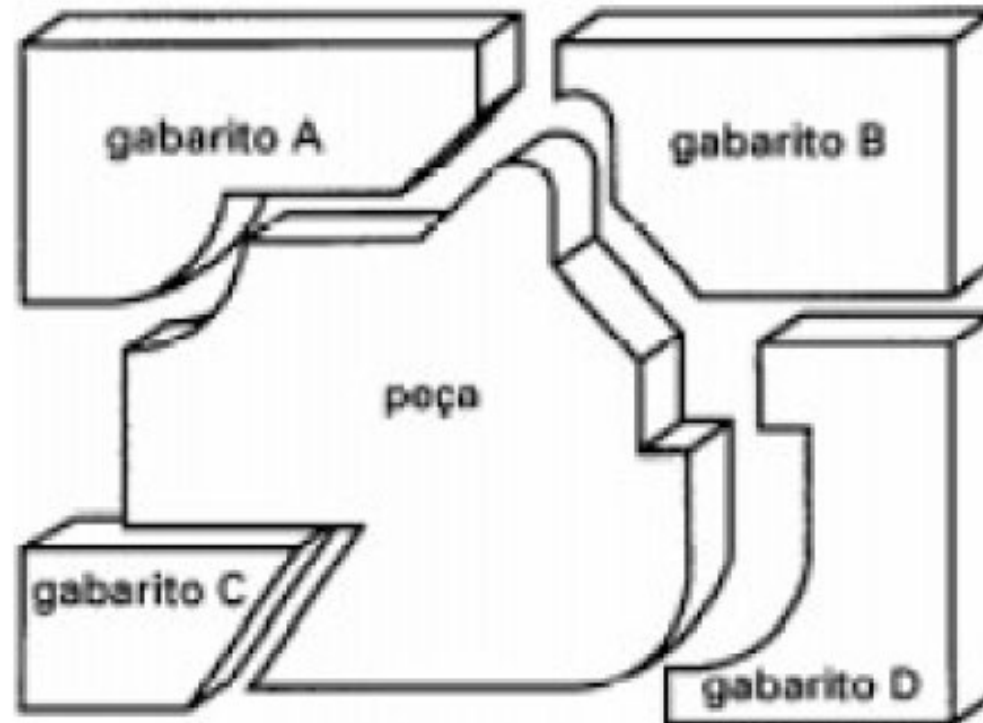
- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)

Calibrador
Tampão
Roscado



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



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 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



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 x 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**

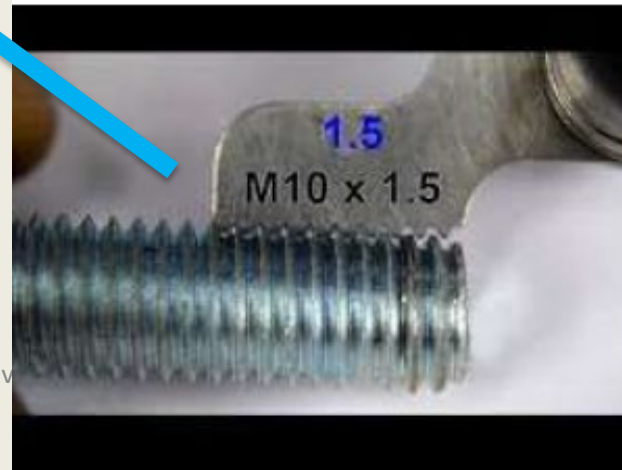
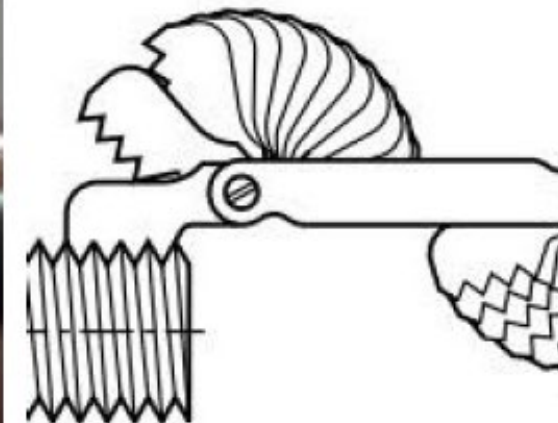
 Isso significa que:
A cada volta completa do parafuso, ele avança **1,5 mm** no sentido axial.

Observação importante

Para o diâmetro 10 mm:

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

- **M10 x 1,25**
- **M10 x 1,0**



Calibradores/Verificadores
de Roscas

Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

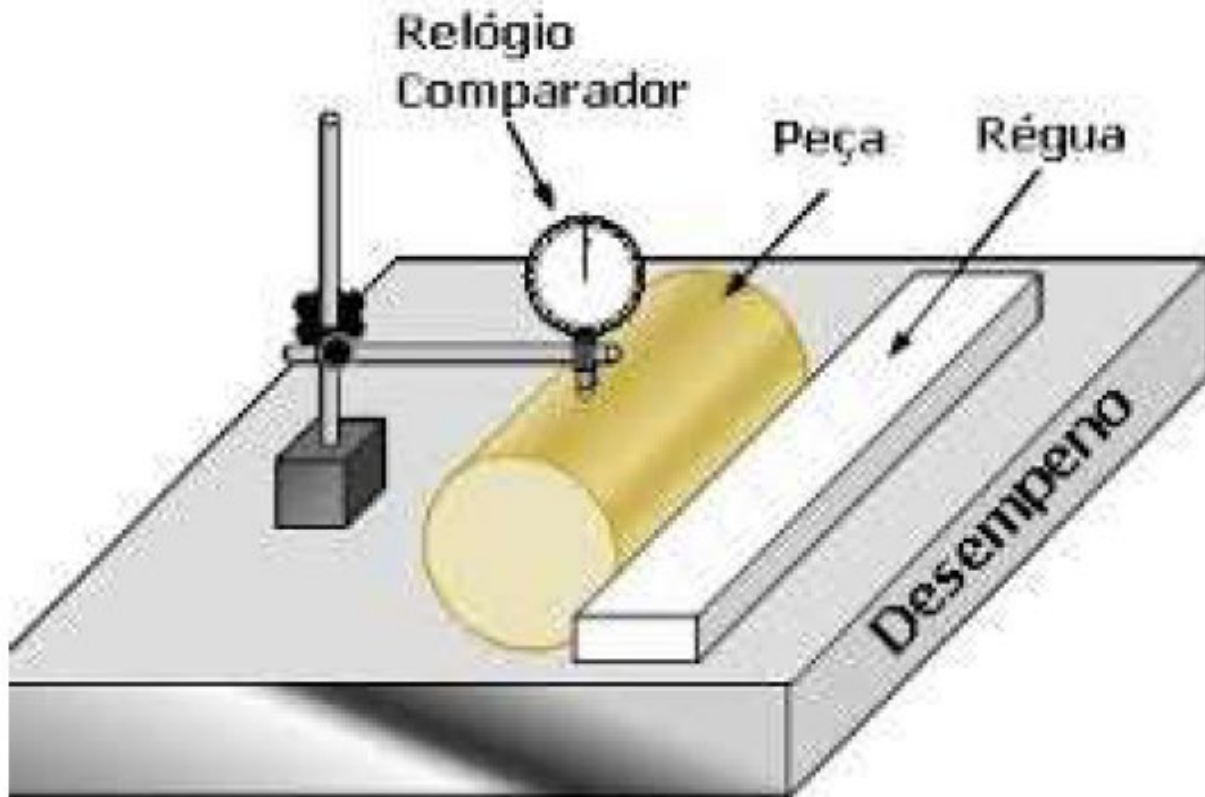
- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)

Régua de fio



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 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.**



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

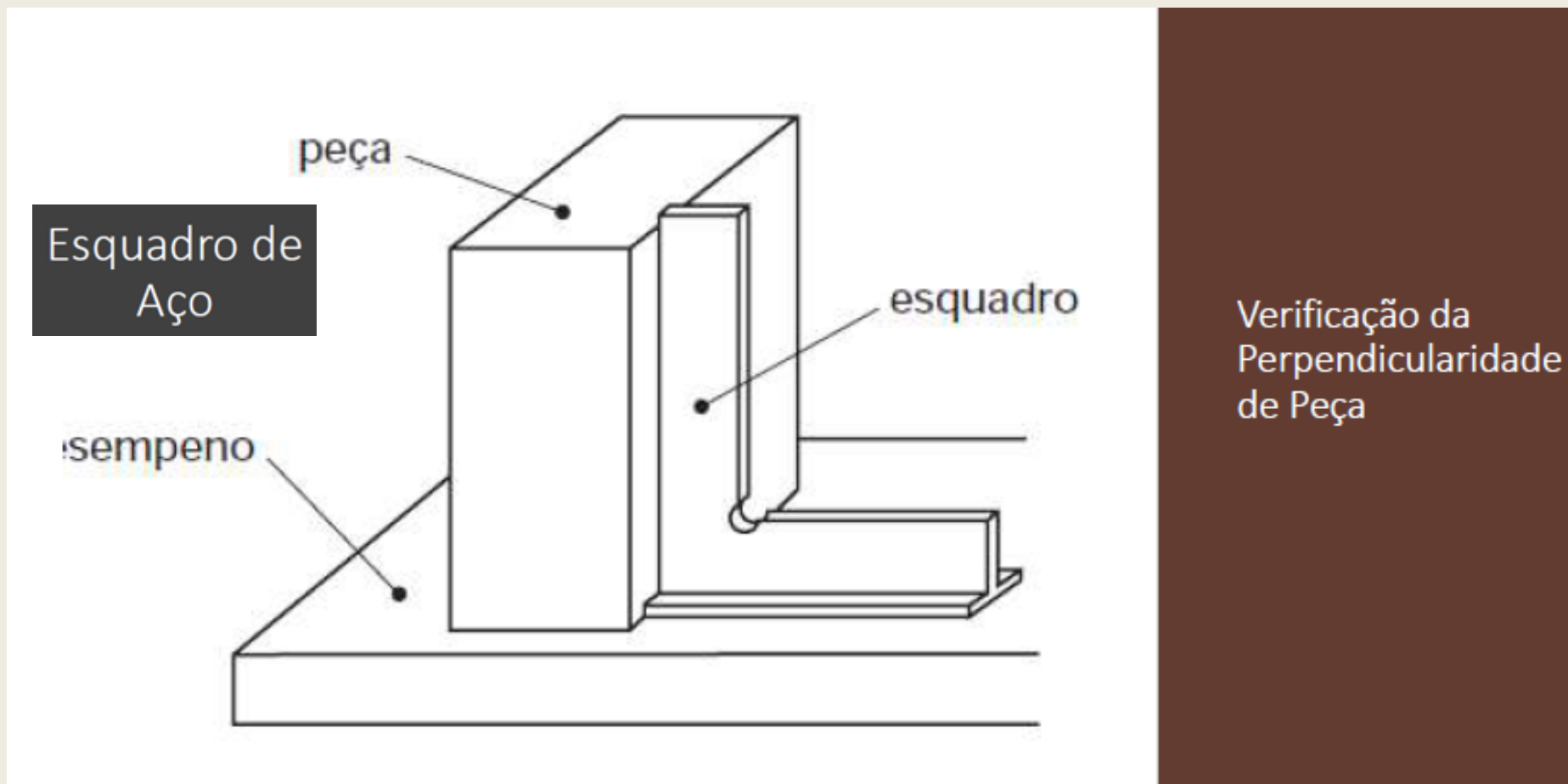
- **Calibradores** (tampão, boca, rosca, especiais) e **Verificadores** (de folga, de raio e de rosca), **Réguas**: avalia a retilidade da peça; **Esquadros**: avalia se a peça está a 90°)

Esquadro de
Aço



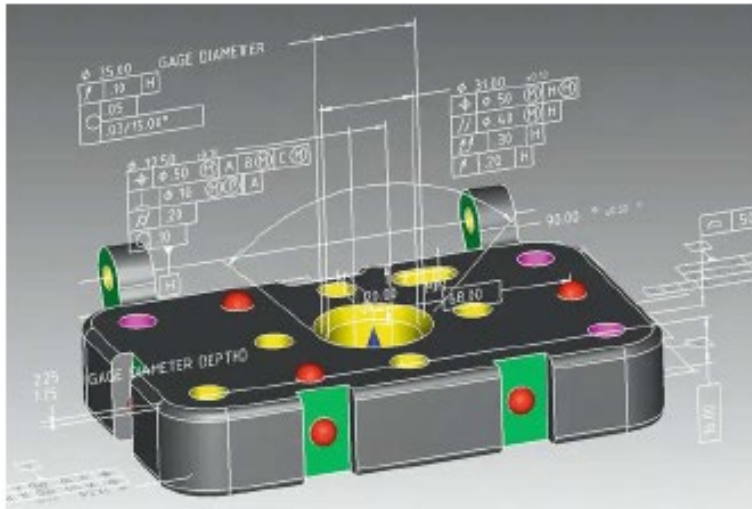
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- **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°)



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)



Tipos de
Estruturas



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)



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)



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.

Tipo – Duplo Braço Horizontal



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



Tipo:
Cantilever

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.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)



Tipo Pórtico

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

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.

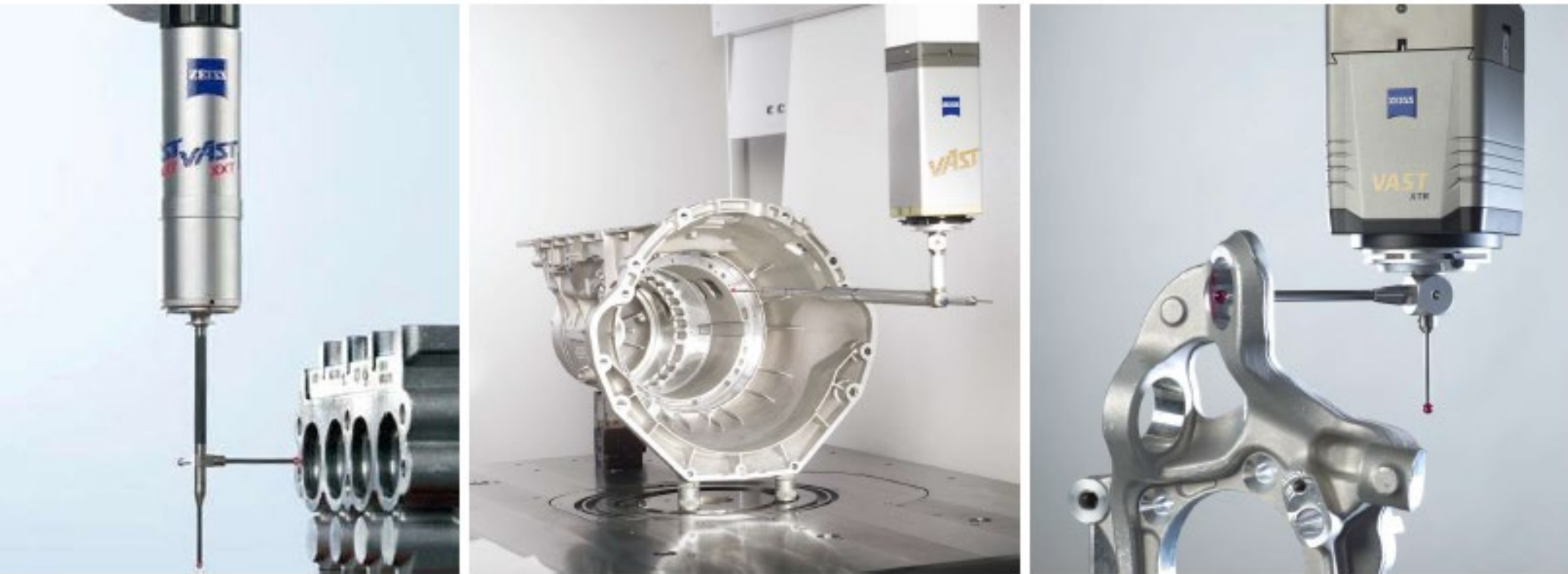
◆ Aplicação:

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

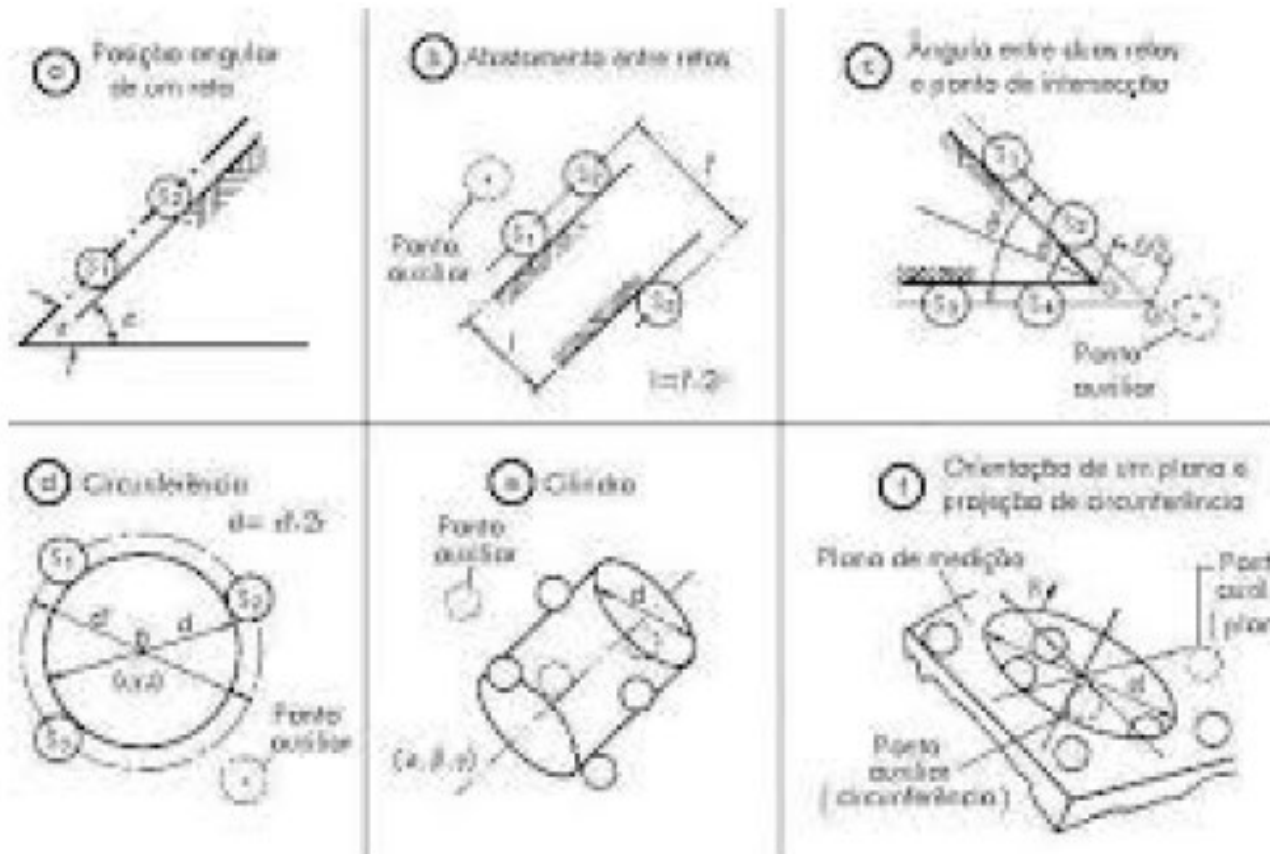
◆ Aplicação:

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:**

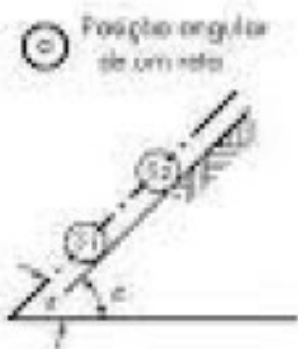
O apalpador coleta vários pontos na superfície da peça, e o *software* calcula os elementos geométricos (reta, plano, círculo, cilindro etc.) com base nessas coordenadas.

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

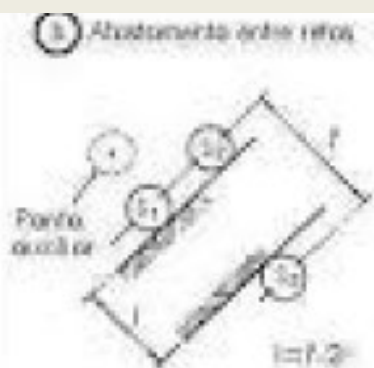
Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

• Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

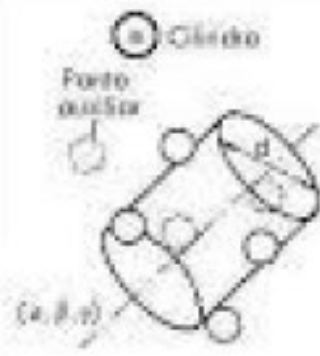
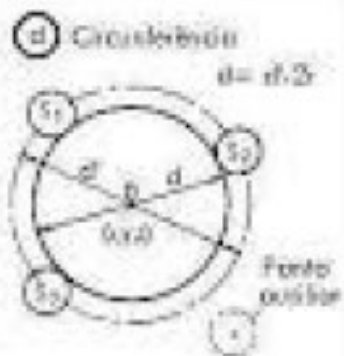
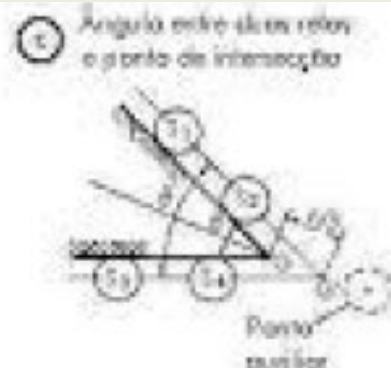
1 Ângulo



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

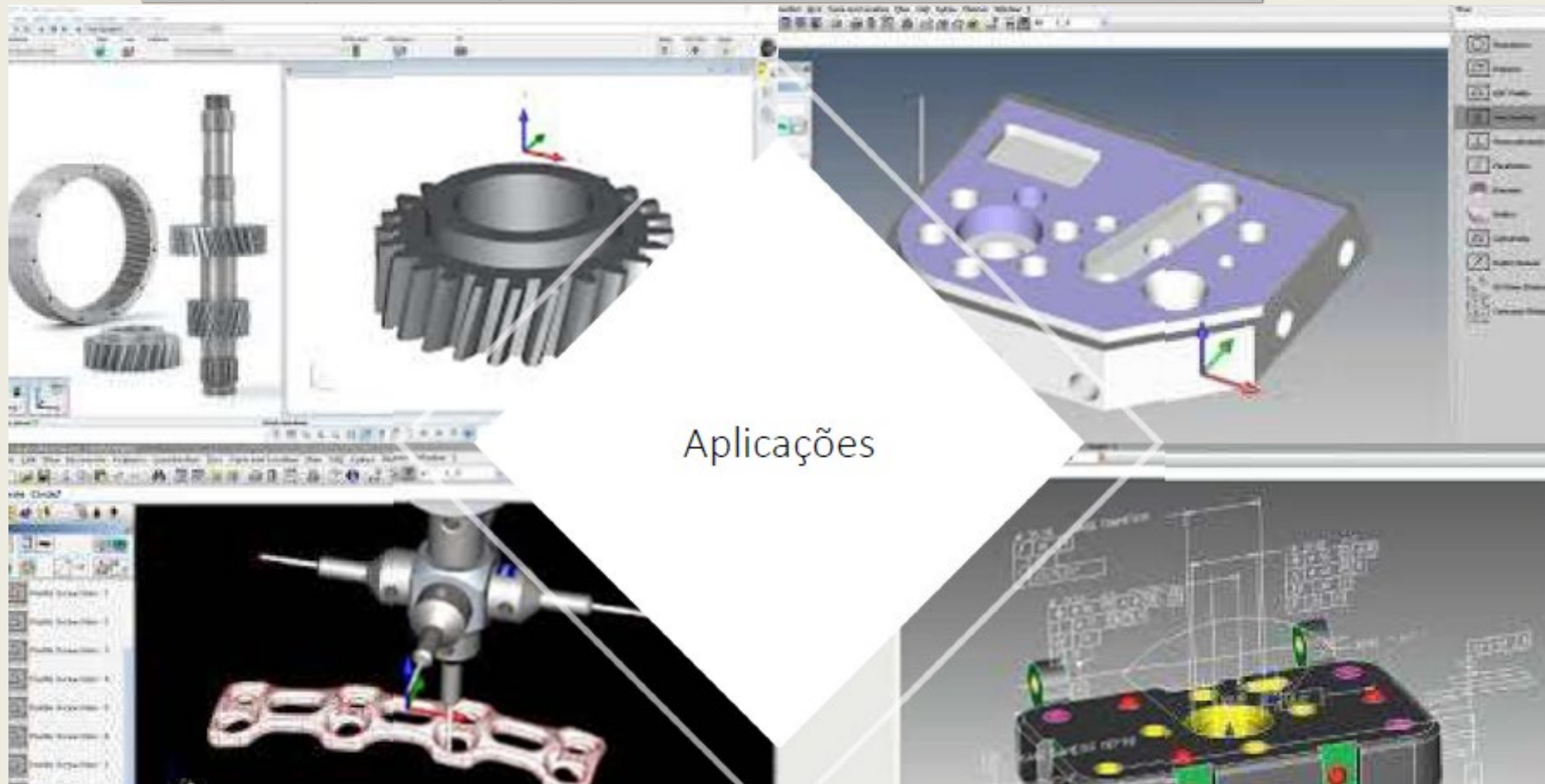
◆ Exemplo aplicado:

- 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

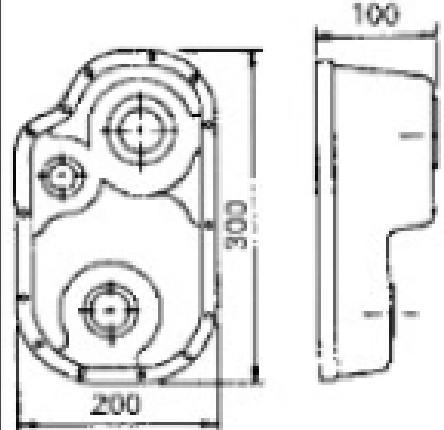
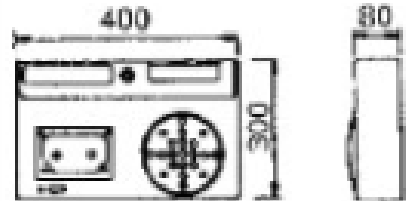
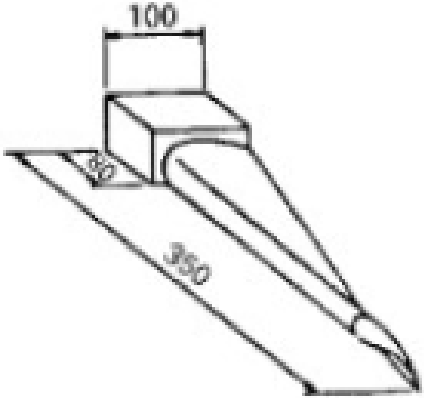
Aplicações: Verificação da conformidade dimensional de peças e componentes, medindo superfícies irregulares, como moldes, peças fundidas e componentes com geometrias complexas; digitalizar e criar modelos 3D precisos de peças físicas; calibrar instrumentos de medição e outros.



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

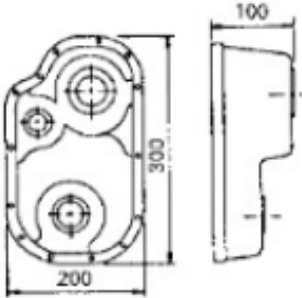
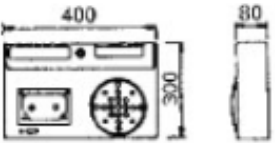
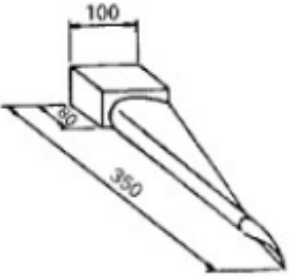
MMC x Método Convencional

		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
	UNID.BÁSICA	1,5 horas (1/3)	8 horas (1/3)	5 horas (1/6)
MAQUINA DE MEDIR	COM COMPUTADOR	0,5 horas (1/10)	4 horas (1/6)	2 horas (1/15)



- 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)

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.

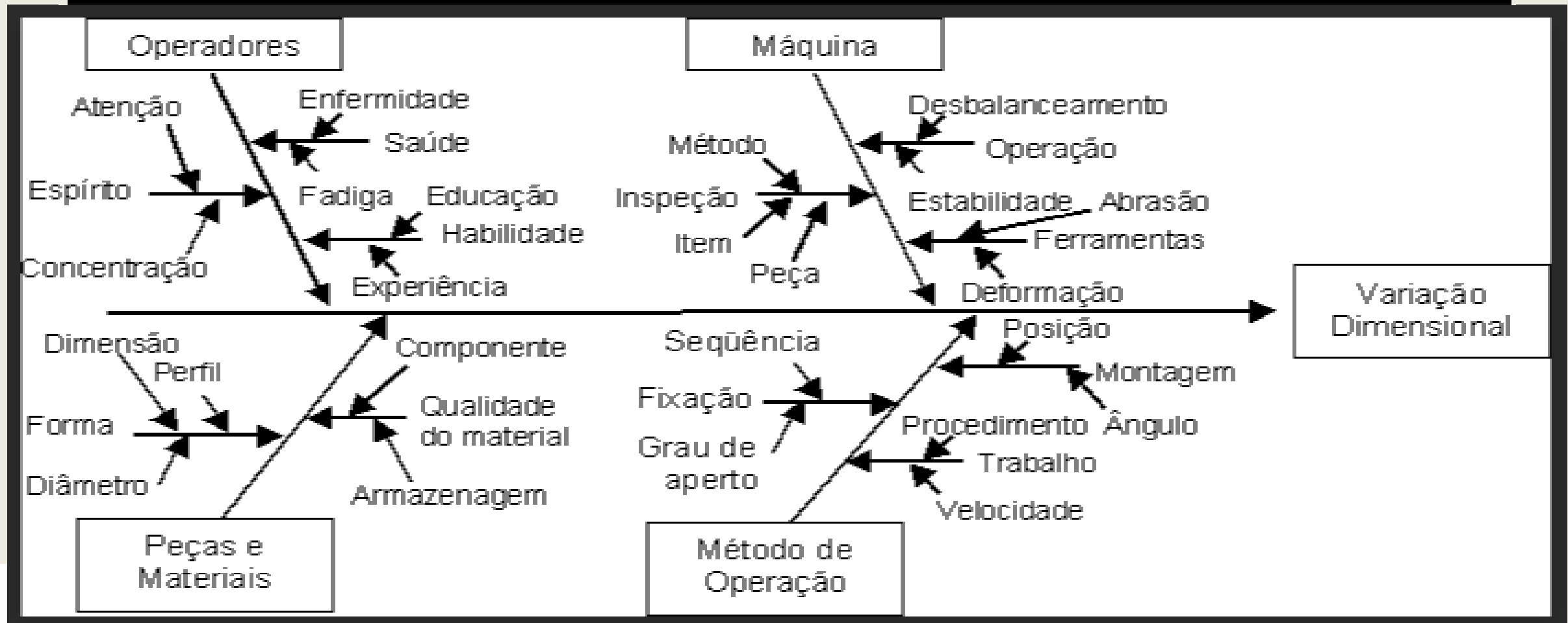
📌 **O slide destaca principalmente a vantagem de tempo e produtividade da MMC em comparação ao método tradicional.**



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Máquina de Medir por Coordenadas (MMC – Tridimensional)

Fontes de Erros na Medição

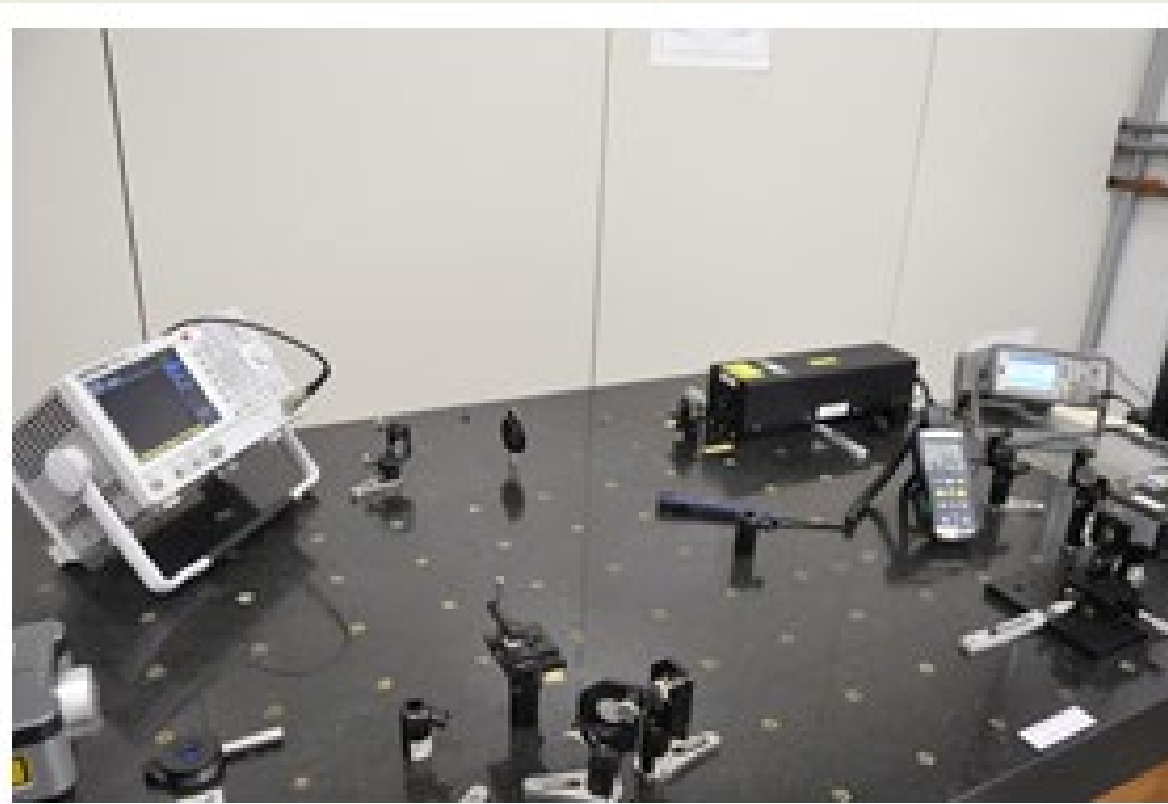


Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- 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 HeNe / 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:

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.



Interferômetros Jena-Zeiss (esquerda) e GBI Mitutoyo (direita) – Bloco padrão pequeno (0,5 mm – 101,6 mm) e pares de blocos – Rastreado ao padrão primário nacional.

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)

- Blocos padrão

Blocos
padrão



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.

📌 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

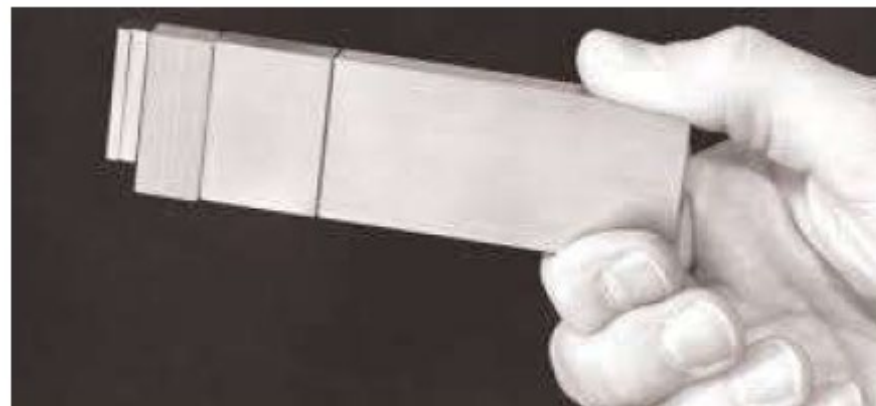
Blocos padrão



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 *wrining* - 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 (em negrito vamos estudar)

- Blocos padrão – Aplicações (Relembrando...)

Algumas das principais aplicações dos Blocos Padrão:

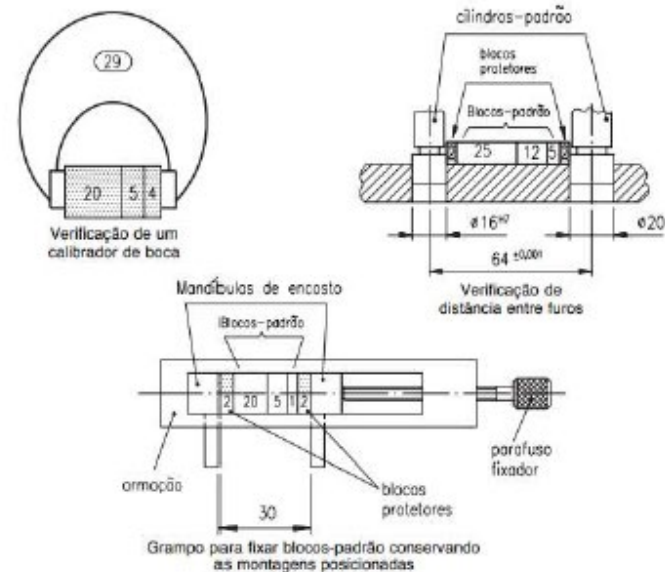
i) Controle de Qualidade e Inspeção de Peças;

ii) Montagem e Ajuste de Componentes;

iii) Calibração de Instrumentos; e

iv) Verificação de Protótipos e Peças Personalizadas, e outras.

Blocos padrão - Aplicações



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

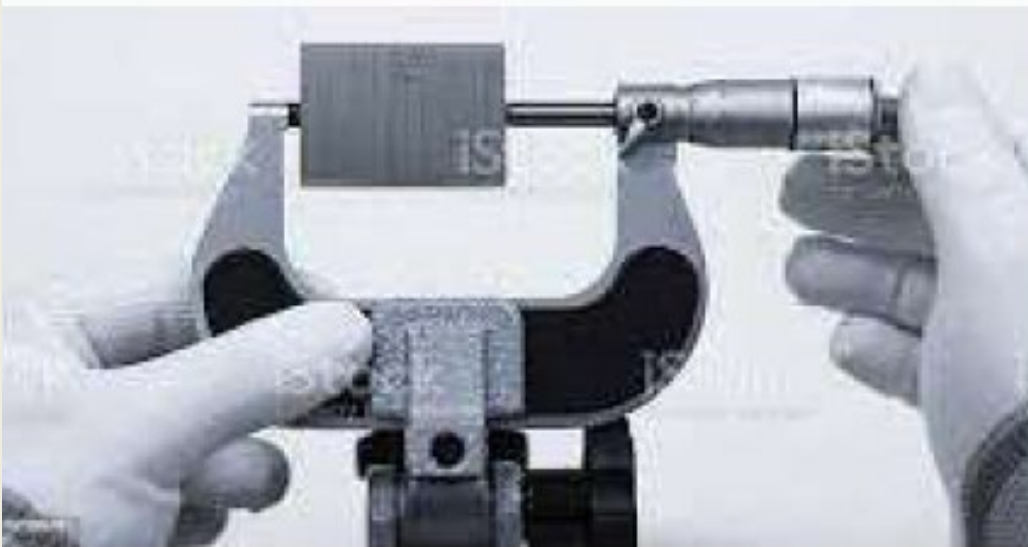
- Blocos padrão

Calibração
de
Paquímetros



Sistemas de Medição e padrões (em negrito vamos estudar)

- Blocos padrão



Calibração de
Micrômetros





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:

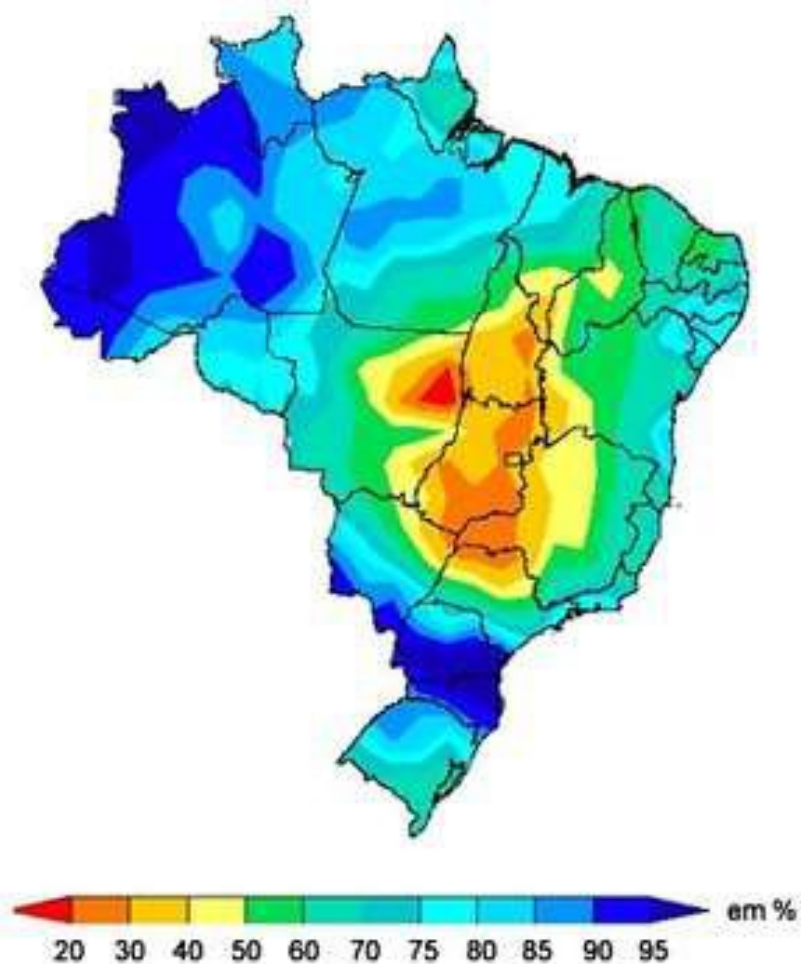
$T = (20,0 \pm 0,5) [^{\circ}\text{C}]$

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI





Umidade relativa do ar no Brasil



G1.com.br

Fonte: INMET





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

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI



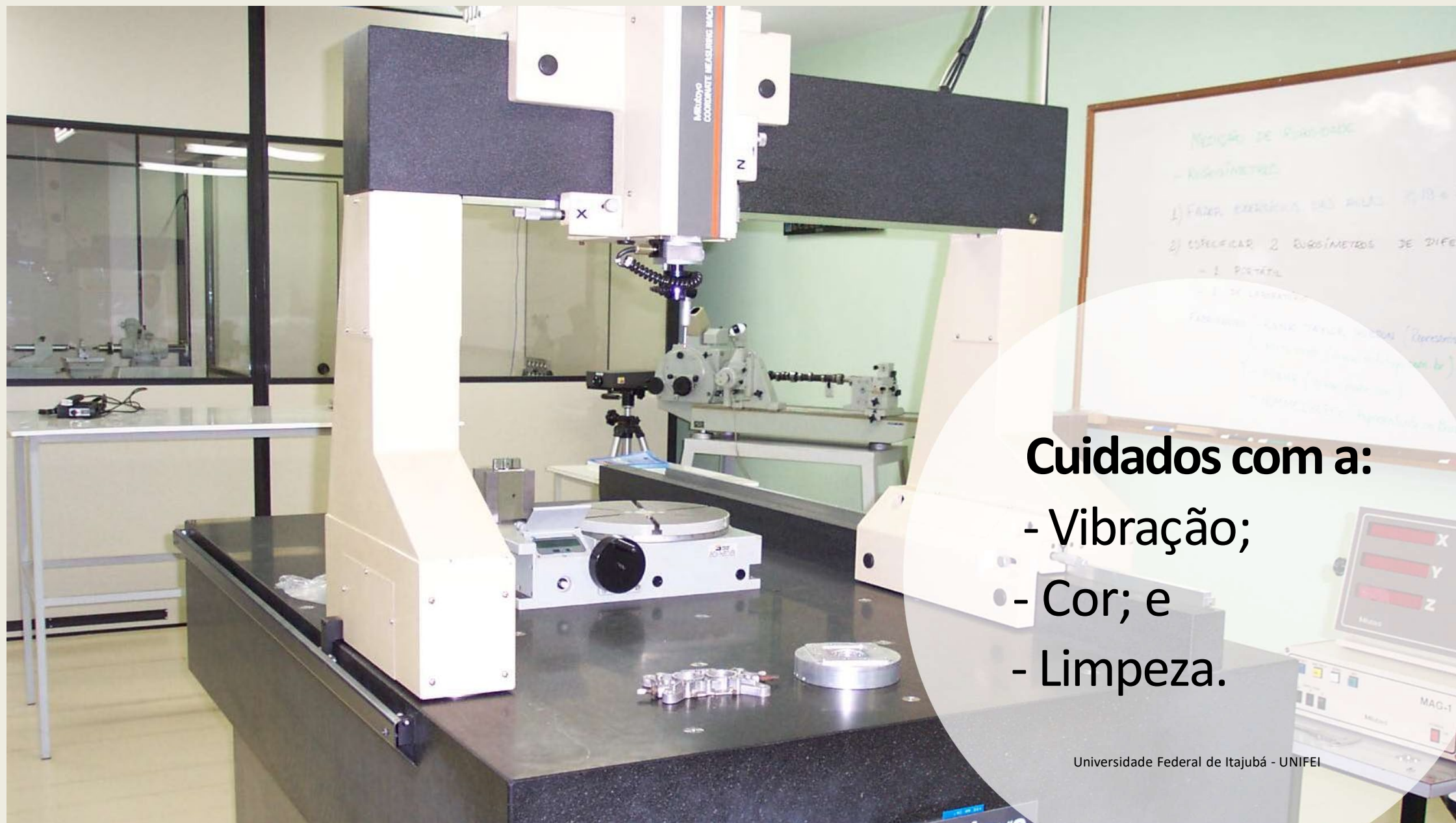


Iluminação/Iluminamento
- **IL [lumens/m²] ou [lux]:**

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

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI



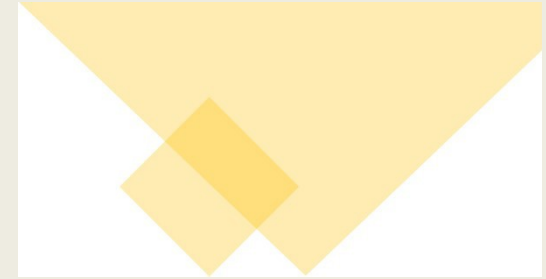
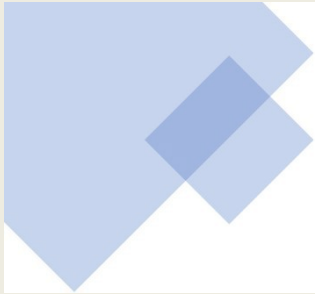


Cuidados com a:

- Vibração;
- Cor; e
- Limpeza.

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI





Obrigado!

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

