

METROLOGIA DIMENSIONAL

Luiz Roberto Oliveira da Silva

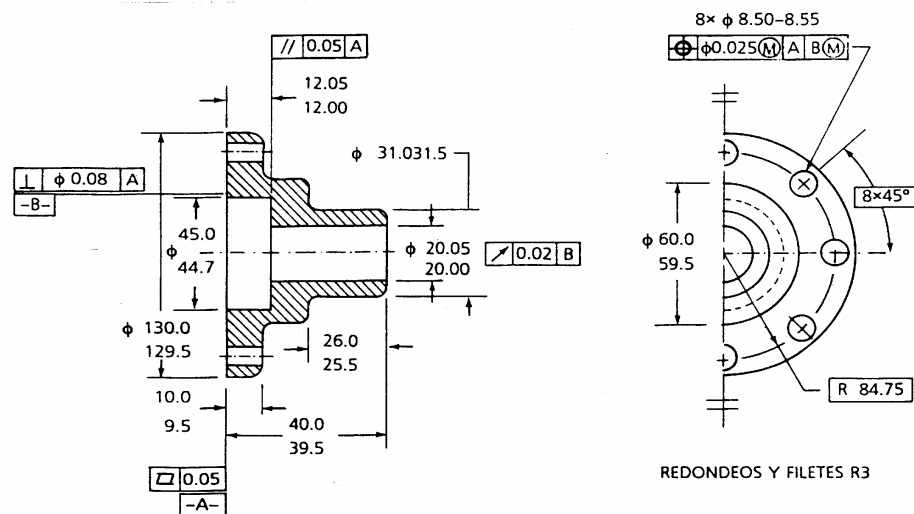
1 - INTRODUÇÃO

De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), o termo **medição** é definido como um conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza. Já o termo **Metrologia** é definido como a ***Ciência da medição***, isto é, o campo do conhecimento que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou tecnologia, como a mecânica, a elétrica, a eletrônica, a química, etc...

Dentro do campo da mecânica encontramos a ***Metrologia Dimensional***, que é encarregada de estudar as técnicas de medição que tem por finalidade a determinação correta de grandezas lineares e angulares.

A intercambialidade, propriedade desejada entre peças e elementos de uma máquina, só é possível através da expressão das propriedades geométricas e mecânicas destes elementos através da medição. Um fator relevante para assegurar a qualidade é a verificação da geometria dos componentes fabricados, cuja tolerância de fabricação cada dia se tornam mais estreitas para melhorar o desempenho do produto e assegurar maior intercambialidade das peças. A verificação da geometria de um componente compreende medições de ***dimensão*** (comprimentos e ângulos); ***forma macrogeométrica*** (retilidade, planicidade, conicidade, etc), ***forma microgeométrica*** (rugosidade superficial) e ***posição linear ou angular*** de um elemento geométrico em relação a outro ou mesmo entre componentes (paralelismo; perpendicularismo, simetria, etc).

Uma inspeção dimensional numa peça fabricada, como, por exemplo, a da figura abaixo, tem como objetivo determinar se suas características geométricas estão ou não em conformidade com as especificações técnicas correspondentes.



Os serviços do âmbito da metrologia dimensional (ou geométrica) podem ser divididos em 8 sub-áreas, considerando que para elas existe uma infraestrutura laboratorial (instalações, equipamentos e pessoal) relativamente especializada. A seguir caracteriza-se as sub-áreas e alguns meios envolvidos para realizar os serviços metrológicos:

a) Medição com Sistemas Convencionais:

Uso de desempenho e conjunto de instrumentos convencionais (blocos padrão, relógio comparador e apalpador, micrômetros, paquímetros e réguas), para a medição de geometrias de peças de qualquer natureza;

b) Medição por Coordenadas:

Uso de máquinas de medir por coordenadas (automatizadas ou não) para a medição de qualquer tipo de geometria;

c) Medição com Sistemas Especiais:

Uso de máquinas/instrumentos especiais para medição de peças/geometrias específicas, por exemplo: engrenagens, cames, lentes, etc; ou ainda medições não convencionais;

d) Qualificação de Blocos Padrões:

Calibração de blocos padrão de comprimento ou angulares e outros padrões de classe de erro equivalente;

e) Qualificação de Padrões Geométricos:

Calibração de padrões laboratoriais e/ou industriais de comprimento, forma ou posição, tais como anéis padrão, calibradores (cilíndricos ou cônicos, lisos ou roscados), hastes, etc;

f) Qualificação de Medidores Geométricos

Calibração/Ajustagem de instrumentos de medição de deslocamentos (relógios comparadores, medidores eletrônicos, etc), escalas eletrônicas, micrômetros, etc;

g) Ensaio de Microgeometria:

Ensaio de rugosidade superficial, envolvendo a medição de peças e ou de padrões de rugosidade;

h) Ensaio de Macrogeometria:

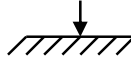
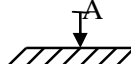
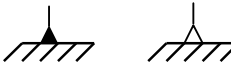
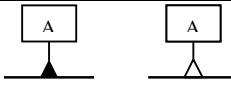
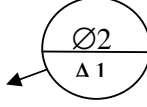
Ensaio de retilidade, planicidade, ortogonalidade, circularidade, cilíndricidade e outros aplicados a peças, máquinas ferramentas, máquinas de medir, etc.

2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS NO ÂMBITO DA METROLOGIA DIMENSIONAL

Tabela 1 - Símbolos para características toleradas

Espécies de Tolerâncias		Características toleradas	Símbolos	Subcláusulas da ISO
Elementos Simples	Tolerâncias de Forma	Retilidade	—	14.1
		Planesa		14.2
Circularidade			14.3	
Cilindricidade			14.4	
Elementos Simples ou relacionados		Forma de uma linha qualquer		14.5
		Forma de uma superfície qualquer		14.6
Elementos relacionados	Tolerâncias de Orientação	Paralelismo		14.7
		Perpendicularidade		14.8
		Inclinação		14.9
	Tolerâncias de Posição	Posição		14.10
		Concentricidade e Coaxialidade		14.11
		Simetria		14.12
	Tolerâncias de Movimento	Batimento circular		14.13
		Batimento total		14.14

Tabela 2 - Símbolos adicionais

Descrições		Símbolos	Cláusulas da ISO
Caracterização do Elemento tolerado	Direta		6
	Através de letra		7.4
Caracterização do elemento de referência	Direta		8
	Através de letra		
Local de referência (Segundo DIN ISO 5459)			ISO 5459
Dimensão teórica exata			10
Campo de tolerância projetado (anteposto)			11
Condição de máximo material (c.m.m)			12

3 - REALIZAÇÃO PRÁTICA DAS UNIDADES DE COMPRIMENTO E ÂNGULO

No Brasil, cabe ao Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (**INMETRO**), através do Laboratório de Metrologia Dimensional (**LAMIM**), que é vinculado à Divisão de Metrologia Mecânica (**DIMEC**) da Diretoria de Metrologia Científica e Industrial do INMETRO, atuar como o laboratório de referência responsável pela guarda manutenção e realização da unidade de ângulo plano (radiano) do *Système International d'Unités* (**SI**) e no desempenho de sua missão institucional, promove também a disseminação dessa unidade e da unidade de comprimento para os laboratórios credenciados que integram a Rede Brasileira de Calibração (**RBC**), assegurando-lhes rastreabilidade internacional. Neste sentido, o LAMIN atua como instrumento estratégico de descentralização e fortalecimento da infra-estrutura de serviços básicos para a qualidade e competitividade, em atendimento à demanda dos laboratórios credenciados de calibração e de ensaios, assim como de laboratórios de Metrologia Legal supervisionado pelo INMETRO.

Dispondo de infra-estrutura laboratorial adequada, com aproximadamente 800m², e beneficiando-se dos serviços de outros laboratórios e áreas de apoio aos laboratórios metrológicos do INMETRO, as instalações do LAMIN atendem a exigência de normas internacionais. Intensificando a sua atuação na metrologia científica, o LAMIN participa ativamente dos fóruns científicos nacionais e internacionais, e de programas de comparação interlaboratorial. Para atingir estes objetivos, o LAMIN está envolvido num intensivo programa de capacitação de pessoal, implantação de serviços de calibração e realização de pesquisa em Metrologia Dimensional.

Adicionalmente a manutenção e disseminação dos padrões nacionais do (SI) em ângulo plano e comprimento, o LAMIN oferecem serviços de calibração, tais como:

1. Calibração de padrões de medição de comprimento (blocos-padrão por comparação; padrões escalonados; esferas-padrão; anéis e tampões-padrão lisos e roscados; hastes-padrão; barras de esferas, etc.);
2. Calibração de instrumentos de medição de comprimento (calibradores de relógios comparadores; medidores de deslocamento; réguas graduadas-padrão; trenas-padrão; etc.);
3. Calibração de padrões de ângulo plano (bloco-padrão angular; polígonos ópticos; esquadros 90°; etc.);
4. Calibração de instrumentos de medição de ângulo plano (mesa indexadora; nível eletrônico; autocolimador; etc.)

Adicionalmente às suas atividades da missão institucional, o LAMIN desenvolve técnicas e procedimentos de calibração; elabora normas técnicas e desenvolve atividades de P&D em metrologia.

Comparações Interlaboratoriais

- Comparação de blocos-padrão, no âmbito do Sistema Interamericano de Metrologia (SIM - 4.2), coordenada pelo NRC (Canadá);
- Comparação de padrões de rugosidade, no âmbito do Sistema Interamericano de Metrologia (SIM - 4.8), coordenada pelo NRC (Canadá).

Padrões e Métodos de Calibração

Sistematicamente rastreados aos padrões de referência do LAINT, da DIOPT/DIMCI e aos padrões de laboratórios metrológicos de outros países, notadamente do Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB-Alemanha), os principais padrões metrológicos do País sob a responsabilidade do LAMIN são os seguintes:

- Sistema de referência gerador de pequenos ângulos;
- Sistema de referência p/ medição de comprimento composto de máquina tridimensional e laser interferométrico;
- Rugosímetro e padrões de rugosidade de referência;
- Sistema para medição de forma circular e respectivo padrão de referência;
- Comparador eletromecânico de blocos-padrão e blocos-padrão de referência de 0,5mm a 100mm;
- Sistema de medição para calibração de blocos-padrão acima de 100mm até 1000mm, composto de máquina universal de medição / laser interferométrico, assim como blocos-padrão de referência acima de 100mm a 1000mm;
- Lasers interferométricos.

3.1 – A unidade de comprimento: o metro (m)

O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo de 1 / 229 792 458 de segundo.

A unidade de comprimento é, hoje, diretamente ligada à unidade de tempo. O *metro* (e, de uma maneira mais geral, todo comprimento) pode ser determinado a partir de uma medida de tempo ou, o que é equivalente, de uma medida de frequência.

Tal constatação permite buscar a realização do *metro* com uma exatidão próxima daquela correspondente ao *segundo*. Limitações ocorrem, entretanto, devido às seguintes circunstâncias:

➤ o desempenho dos instrumentos ópticos atuais, que se deve principalmente aos fenômenos de difração (espalhamento das ondas luminosas ao serem colimadas);

➤ incertezas ligadas ao índice de refração do ar ocasionadas pelas medidas dimensionais no ar ou no meio óptico (líquido transparente, aquoso etc.).

A maneira mais direta de tornar prática a definição do metro é a de medir o intervalo de tempo necessário para que um pulso luminoso percorra, no vácuo, distâncias bem superiores a dezenas de quilômetros (de modo que o intervalo de tempo a ser medido não seja muito curto). Esta realização é conseguida através de um refletor, propiciando um percurso de ida e volta para o pulso luminoso que, assim, pode acionar o mesmo relógio à sua saída e à sua chegada.

Atualmente, as melhores são aquelas incertezas obtidas nas medições da distância Terra-Lua (incertezas da ordem de 1 a 2 centímetros).

Para medir comprimentos da ordem do metro são empregados métodos interferométricos. O método consiste em comparar o comprimento a ser medido com o comprimento de onda λ de uma radiação luminosa cuja frequência f foi previamente determinada com grande exatidão. A referência utilizada é o comprimento de onda da radiação produzida por um laser estabilizado em frequência ou em comprimento de onda.

As comparações são efetuadas através de um interferômetro.

Dentre as referências de comprimento de onda recomendadas pelo BIPM, encontram-se operacionais os lasers estabilizados de 514 nm, 576 nm, 612 nm e 633 nm. Estas fontes luminosas permitem calibrar por batimento de frequência os lasers utilizados como referência com uma incerteza relativa melhor que 10^{-10} .

Outras fontes luminosas foram estudadas e desenvolvidas em laboratório como, por exemplo, os lasers YAG de 532 nm duplicados em frequência.

No ar, a velocidade de propagação da luz é ligeiramente inferior a c . Sua determinação, que depende da medida do índice de refração do ar, se efetua com uma incerteza relativa pior que 10^{-8} . A incerteza das medidas usuais de comprimento encontra-se, pois, limitada por esta determinação.

O desenvolvimento de tecnologias ligadas, por um lado, ao surgimento de novos materiais de coeficiente de dilatação térmico muito baixo, como o zerodur (vidro cerâmico), que permitem a fabricação de blocos padrões ópticos ou de interferômetros, e, por outro lado, à realização de fontes laser sólidas, compactas e com varredura em larga faixa espectral (várias

dezenas de GHz), permitiu a concepção de novos instrumentos: os refratômetros. Estes trazem grandes aprimoramentos destinados a uma melhor realização do *metro* no ar.

As medições do índice de refração do ar por batimento de frequências, com esta nova instrumentação, são efetuadas com incertezas relativas da ordem de 10^{-9} . Estas técnicas permitem a utilização de referências de comprimento de onda diretamente no ar.

Além do emprego de fontes luminosas associadas a interferômetros, a materialização das referências de comprimento de onda é realizada por blocos padrão, cujas extremidades apresentam um polimento e um paralelismo de alta qualidade. Esses blocos padrão, medidos por interferometria, permitem por sua vez a calibração de instrumentos de medição usualmente utilizados na indústria.

3.2 – As unidades de ângulo: o radiano (rad) e o esterradiano (sr).

O **radiano (rad)** é o ângulo central que subtende um arco de círculo de comprimento igual ao do respectivo raio.

O **esterradiano (sr)** é o ângulo sólido que tendo vértice no centro de uma esfera, subtende na superfície uma área igual ao quadrado do raio da esfera.

As unidades derivadas adimensionais são unidades particulares (relação entre dois comprimentos ou entre duas áreas).

O grau ($^{\circ}$) e seus submúltiplos, o minuto do ângulo ($'$) e o segundo do ângulo ($''$), podem ser utilizados como unidades de ângulo plano.

$$1^{\circ} = 60' = 3600'' = \pi / 180 \text{ rad.}$$

Os ângulos planos padrão são materializados por prismas retos, blocos padrão angulares e mesas indexadoras. Estas referências são calibradas ou verificadas utilizando-se meios ópticos (autocolimadores) ou mecânicos.

Estes padrões são obtidos com uma incerteza melhor que $5 \cdot 10^{-6}$ radianos (aproximadamente $1''$)

Em astronomia, as direções dos astros são materializadas pelos eixos ópticos dos telescópios ou das antenas de radiotelescópios. Por métodos radiointerferométricos, distâncias angulares são medidas entre estas radiofontes com exatidão de milésimos de segundo. Acumulando estas medidas, exatidões de uma fração de milésimo de segundo de ângulo são conseguidas na determinação das posições destas radiofontes na esfera celeste.