

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
LABORATÓRIO DE MÁQUINAS FERRAMENTAS

METROLOGIA

MÉTODOS DE ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DA PRECISÃO  
GEOMÉTRICA DE MÁQUINAS-FERRAMENTA

Extraído da Recomendação MIC-01  
do Ministério da Indústria e  
Comércio - STI para fins didá-  
ticos.

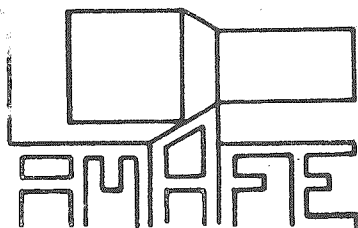
Compilado por:

Eduardo Vila Gonçalves Filho

José Roberto Gambarini

João Fernando Gomes de Oliveira

São Carlos - 1978  
Publicação 026/85  
Reimpressão



LABORATÓRIO DE MÁQUINAS-FERRAMENTAS

	Página
1. Objetivo .....	1
1.1 Definições .....	1
2. Considerações Gerais .....	1
2.1 Definições .....	1
2.2 Métodos de Ensaio e uso dos instrumentos de verificação .....	1
2.3 Tolerâncias .....	1
3. Verificações Preliminares .....	4
3.1 Instalação da máquina antes dos ensaios .....	4
3.2 Condições da máquina antes dos ensaios .....	6
4. Ensaio Práticos .....	6
4.1 Ensaio .....	5
4.2 Verificação das peças usinadas nos ensaios práticos .....	5
4.3 Importância dos ensaios práticos .....	5
5. Verificações Geométricas .....	5
5.1 Generalidades .....	5
5.2 Retitude .....	6
5.3 Planicidade .....	11
5.4 Paralelismo, Equidistância e Coincidência .....	12
5.5 Ortogonalidade .....	18
5.6 Rotação .....	22
6. Verificações Especiais .....	27
6.1 Divisão linear e angular .....	27
6.2 Determinação dos desvios do deslocamento de componentes com parafuso de movimento .....	28
6.3 Folga angular .....	29
6.4 Repetibilidade de dispositivos com indexação angular .....	30
6.5 Intersecção de eixos .....	30

MIC 01	<b>MÁQUINAS-FERRAMENTA</b> <b>MÉTODOS DE ENSAIOS para a</b> <b>Verificação da Precisão Geométrica</b>	IPT MF-A5-00.00
-----------	---	--------------------

## 1. OBJETIVO

Esta Recomendação descreve métodos de verificação da precisão geométrica de máquinas-ferramenta, através de medidas geométricas e ensaios práticos. Estabelece as definições, os métodos de ensaio, suas medidas e tolerâncias e informa sobre o uso de instrumentos de medida. Descreve também as operações preliminares de verificação e algumas verificações especiais.

### 1.1 Definições

**Verificações** — Confirmação das dimensões, formas e posições dos elementos da máquina e dos seus movimentos relativos, no campo de trabalho. Inclui todas as operações de medida que afetam esses elementos (planeza de superfícies, coincidência ou intersecção de eixos, paralelismo e perpendicularidade entre movimentos lineares, entre superfícies planas e entre movimentos lineares e planos). Fazem referência, apenas, às dimensões, formas, posições e movimentos relativos que possam prejudicar a precisão de trabalho da máquina.

**Ensaio prático** — Usinagem de peças afins aos propósitos fundamentais para os quais a máquina foi projetada, com dimensões e tolerâncias predeterminadas (item 4.1).

## 2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

**2.1 Definições geométricas e metrológicas** — Deve ser feita distinção entre definições geométricas e definições metrológicas, mencionadas nesta Recomendação.

**Definições geométricas** — São conceitos geométricos teóricos e referentes apenas a linhas e planos imaginários. Na prática as definições geométricas nem sempre são aplicáveis, pois não consideram os meios de execução nem as possibilidades de verificação.

**Definições metrológicas** — São conceitos geométricos fisicamente verificáveis uma vez que fazem referência a linhas de movimentos reais e superfícies acessíveis à medição. Reunem, em um único resultado, todos os erros micro e macro-geométricos. Estes englobam, indistintamente, todas as causas de erros.

Para evitar dúvidas, esta Recomendação mantém em alguns casos as definições geométricas mas, na descrição de métodos de ensaio, instrumentos de medida e tolerâncias, são utilizadas as definições metrológicas.

**2.2 Métodos de ensaio e uso dos instrumentos de verificação** — Nos ensaios de uma máquina-ferramenta, os métodos de medida podem consistir de verificações com calibradores especiais que garantem que as tolerâncias de precisão geométrica não foram ultrapassadas, ou podem consistir na medida de desvios reais, com instrumentos de alta precisão.

Os erros de medida devidos aos instrumentos e os devidos aos métodos utilizados nos ensaios, devem ser considerados. Os instrumentos de medida não devem apresentar erro maior que uma fração conhecida da tolerância a ser verificada. Todos os instrumentos de medida devem ser acompanhados do seu certificado de aferição.

As operações de ensaio devem ser protegidas contra correntes de ar e radiação térmica (luz solar e lâmpadas elétricas muito próximas). A temperatura dos instrumentos de medida deve ser estabilizada, antes de efetuar qualquer medida. A máquina deve ser, convenientemente, protegida contra variações térmicas externas.

O ensaio deve ser repetido, considerando como resultado a média das medidas. Estas medidas não devem apresentar grandes variações entre si. Se isto ocorrer, a causa dessa variação deve ser procurada no método de ensaio, no instrumento de medida, ou na própria máquina.

### 2.3 Tolerâncias

**2.3.1 Tolerância nas medidas** — São as variações permissíveis relacionadas às dimensões, formas, posições e movimentos essenciais à precisão de trabalho, à montagem de ferramentas, componentes e acessórios da máquina. Há, também, tolerâncias que se aplicam somente às peças executadas nos ensaios práticos.

**2.3.1.1 Unidade de medida, faixa de medida** — Ao ser estabelecida uma tolerância, é necessário indicar:

- a — a unidade de medida;
- b — a referência, para a execução da medida, o valor da tolerância e sua localização em relação à essa referência e
- c — a faixa na qual a medida é feita.

A tolerância e a faixa de medida são expressas no mesmo sistema de unidades. Tolerâncias relativas a ângulos são expressas em unidades de ângulo (grau, minuto, segundo), ou em tangentes trigonométricas (micrometro por metro, ou milímetro por metro).

Quando a tolerância para uma faixa é conhecida, a tolerância para uma outra faixa comparável é determinada proporcionalmente. A proporcionalidade não pode ser aplicada para faixas com grandes diferenças em relação à de referência. As tolerâncias calculadas proporcionalmente devem ser mais amplas para faixas pequenas e mais apertadas para faixas grandes.

**2.3.1.2 Regras referentes às tolerâncias** — As tolerâncias incluem erros inerentes aos instrumentos de medida e métodos de ensaio utilizados. Conseqüentemente, nas tolerâncias permitidas, devem ser considerados os erros de medida (Ítem 2.2).

Exemplo: Tolerância de:  $x \mu\text{m}$   
 Imprecisão dos instrumentos, erros de medida:  $y \mu\text{m}$   
 Diferença máxima permissível nas leituras durante o ensaio:  $(x-y) \mu\text{m}$ .

Não devem ser considerados os erros de blocos padrão, de discos de referência, de imprecisões decorrentes de medidas comparativas de laboratório, de imperfeição de forma em partes de máquina, usadas como superfícies de referência, inclusive de marcas não significativas deixadas por apalpadores ou pelos pontos de apoio dos instrumentos de medida. O desvio real é a média aritmética de uma série de medidas efetuadas.

As linhas ou superfícies escolhidas como referência devem ser inerentes à máquina-ferramenta (por ex.: linha entre centros de um torão, linha de centro de uma mandriladora, guias de uma plaina, e outras). A direção da tolerância é definida conforme as regras do Ítem 2.3.2.5.

## 2.3.2 Subdivisões de tolerâncias

**2.3.2.1 Tolerâncias aplicáveis aos ensaios práticos e partes fixas da máquina**

**2.3.2.1.1 Tolerâncias de dimensões** — As tolerâncias de dimensões indicadas nesta Recomendação estão relacionadas, exclusivamente,

com as dimensões das peças para ensaios práticos e com as dimensões de ajuste das ferramentas de corte e dos instrumentos de verificação, que possam ser montados na máquina-ferramenta (cones de árvores, furos de cabeçote revólver). Representam os limites dos desvios permissíveis das dimensões nominais. São expressas em unidades de comprimento (por ex.: desvios de mancais e dos diâmetros dos furos, para montagem e centragem das ferramentas).

Para dimensões externas e internas de partes cilíndricas e prismáticas, as tolerâncias devem ser representadas conforme as regras indicadas na ABNT NB-86/66. Preferir, para os métodos de representação de tolerâncias, aqueles em que são usadas a dimensão e o desvio, ou uma dimensão nominal e os limites, de acordo com a simbologia normalizada.

Exemplo:  $0$   
 $38,10$  ou  $38.10 H8$   
 $0.039$

**2.3.2.1.2 Tolerâncias de forma** — As tolerâncias de forma limitam os desvios permissíveis da forma geométrica teórica (por ex.: desvios relacionados a um plano, a uma linha reta, a um cilindro de revolução, a um perfil de rosca ou de dente). São expressas em unidades de comprimento ou de ângulo. Devido às dimensões da superfície do apalpador ou da superfície do suporte, somente parte do erro de forma é detectado. Portanto, onde é exigida precisão extrema, a área da superfície coberta pelo apalpador ou pelo suporte deve ser especificada.

De um modo geral, a superfície do apalpador deve ser proporcional à precisão e à dimensão da superfície a ser verificada (um desempenho e a mesa de uma plaina pesada não devem ser verificados com uma mesma superfície de apalpador).

**2.3.2.1.3 Tolerâncias de posição** — As tolerâncias de posição limitam os desvios permissíveis na posição de um componente em relação a uma linha, a um plano, ou a outro componente da máquina (por ex.: desvio de paralelismo, de perpendicularidade, de alinhamento e outros). São expressos em unidades de comprimento ou de ângulo.

Ao definir uma tolerância de posição por duas medidas tomadas em dois planos diferentes, essa tolerância deve ser fixada em cada plano quando os desvios, em relação a esses dois planos, não afetarem, de maneira idêntica, a precisão de trabalho da máquina-ferramenta.

Quando a posição é determinada em

relação a superfícies que apresentam erros de forma, considerar esses erros ao fixar a tolerância dessa posição.

**2.3.2.1.4 Regras para considerar a influência do erro de forma na determinação do erro de posição** — Quando são determinados erros de posição de duas superfícies ou de duas linhas (Fig. 1, linhas AB e CD), as leituras do instrumento de medida incluem, automaticamente, alguns erros de forma. Como princípio, deve ser estabelecido que a verificação é aplicada somente ao erro total, abrangendo erros de forma das duas superfícies ou das duas linhas. Conseqüentemente, a tolerância deve levar em consideração a tolerância de forma da superfície envolvida. Quando for conveniente, determinar, através de verificações preliminares, os erros de forma de linhas e de superfícies, que devem ter suas posições relativas determinadas.

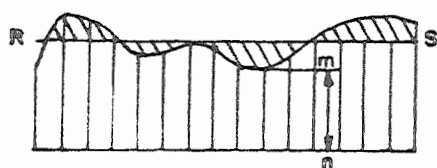
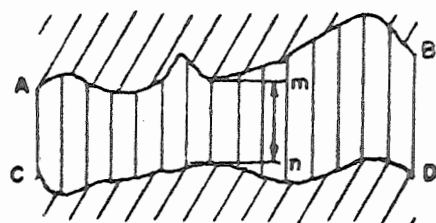


FIG. 1

Quando as diferentes leituras  $mn$  do instrumento de verificação forem colocadas em um gráfico (Fig. 1), a curva obtida deve ser semelhante a RS. Estabelecer, quando não especificado em contrário, que o erro não deve ser determinado pelos máximos da curva RS, mas por uma linha calculada pelo método dos mínimos quadrados.

**2.3.2.2 Tolerâncias aplicáveis ao deslocamento de um componente de uma máquina-ferramenta**

**2.3.2.2.1 Tolerâncias de dimensões** — As tolerâncias dimensionais limitam o desvio permitido na posição alcançada por um ponto, de uma parte móvel, em relação à posição que deveria ser atingida após o movimento.

Exemplos: Desvio  $d$ , da posição no fim de curso, do carro transversal de um

torno em relação à que deveria ser atingida sob a ação do parafuso de movimento (Fig. 2).

Ângulo de rotação de uma árvore de um cabeçote divisor em relação ao deslocamento angular de sua placa divisora.



FIG. 2

**2.3.2.2.2 Tolerâncias de forma** — Estas limitam o desvio da trajetória real de um ponto, em relação à trajetória teórica (Fig. 3). Devem ser expressas em unidades de comprimento.



FIG. 3

**2.3.2.2.3 Tolerâncias de posição** — As tolerâncias de posição limitam os desvios permitíveis entre a posição da trajetória de um ponto da parte móvel e a trajetória predeterminada (por ex.: desvio de paralelismo entre a trajetória e uma linha reta ou uma superfície), como indica a Figura 4. São expressas em unidades de ângulo ou, preferivelmente, como tangentes sucessivas sobre um determinado comprimento de medida.

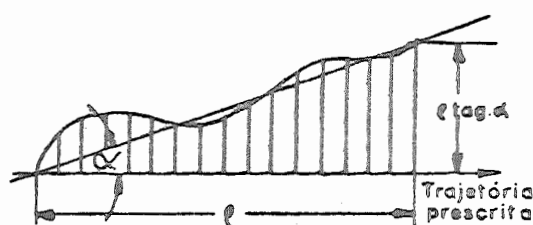


FIG. 4

**2.3.2.2.4 Tolerâncias locais** — Usualmente, as tolerâncias de forma e posição, são relacionadas à forma ou posição como um todo, por ex.: 0,03/1000 para planeza e retitude. Deve ser observado que a verificação pode encontrar um desvio (Fig. 5), que não é distribuído ao longo da peça, mas está localizado em um trecho reduzido, por ex.: 200 mm. Esses defeitos, raros na prática, devem ser evitados. A tolerância total pode ser acompanhada pela especificação de uma tolerância local ou, simplesmente, pode

estabelecer que a tolerância local seja proporcional à tolerância total. Para tanto, assegurar que o valor mínimo fixado, por ex.: 0,01 ou 0,005 mm, não seja ultrapassado. Neste caso, em relação à retitude, por exemplo, o erro local não deve exceder a:

$$\frac{0,03}{1000} \times 200 = 0,006 \text{ mm, que significa } 0,006 \text{ mm em } 200 \text{ mm.}$$

Se, para uma determinada máquina, 0,01 mm for aceito como valor mínimo, verificar que o erro local seja especificado abaixo desse valor.

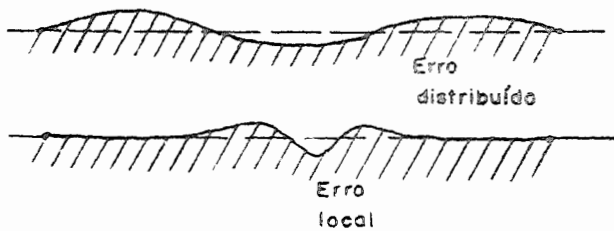


FIG. 5

Os defeitos locais, geralmente, são imperceptíveis na prática pois são mascarados pelas superfícies de apoio ou de contato dos instrumentos de medida. Todavia, quando as superfícies de contato são relativamente pequenas (apalpadores de relógios comparadores ou micro-indicadores), o dispositivo de medida deve ser tal que os apalpadores toquem uma superfície com acabamento adequado (régua, mandril de teste e outros), conforme o dispositivo de medida (Fig. 8).

**2.3.2.3 Tolerâncias cumulativas ou inclusivas** — As tolerâncias designadas por cumulativas são resultantes de vários desvios e podem ser determinadas com uma única medida. Não é necessário conhecer cada desvio particular.

**Exemplo (Fig. 6):** A tolerância, para a imprecisão de rotação de uma árvore, é a soma da tolerância de forma (erro de circularidade da circunferência ab, que o apalpador está em contato), da tolerância de posição (o eixo geométrico e o centro de rotação do eixo não coincidem) e da tolerância do erro de circularidade do furo do mancal.

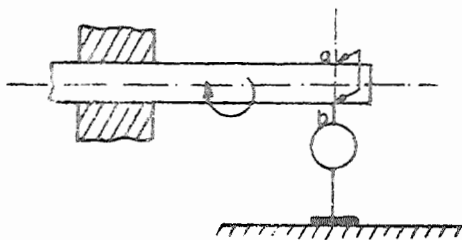


FIG. 6

**2.3.2.4 Símbolos e posições de tolerâncias para posições angulares relativas de eixos, de guias e outros** — Quando a posição da tolerância, em relação ao valor nominal, for simétrica, usar o sinal  $\pm$ . Se a posição for assimétrica, a tolerância deve ser estabelecida com exatidão e definida tanto em relação à máquina ou um de seus componentes, como em relação ao operador, em sua posição convencional.

**2.3.2.5 Posição convencional do operador** — Definir para cada tipo de máquina uma posição convencional do operador. A frente da máquina é o lado voltado para o operador. A direita da máquina é o lado que fica à direita do operador. O lado posterior e o esquerdo da máquina são os opostos aos definidos acima.

### 3. VERIFICAÇÕES PRELIMINARES

**3.1 Instalação da máquina antes dos ensaios** — Antes de executar o ensaio de uma máquina-ferramenta é essencial fixar a máquina a uma fundação adequada e nivelar conforme as instruções do fabricante.

**3.1.1 Nivelamento** — A instalação da máquina envolve nivelamento preciso, que é específico para cada tipo de máquina em particular.

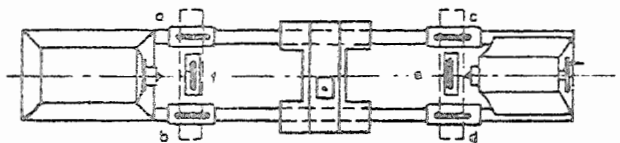


FIG. 7

No caso de um torno, o plano das guias (anterior e posterior), é colocado horizontalmente ou com uma ligeira inclinação. O carro transversal é disposto no meio do barramento. Quando são utilizados parafusos de nivelamento com porcas de fixação, as extremidades das guias devem ser colocadas horizontalmente e a torção do barramento deve ser corrigida, se necessário. Para isto colocar o nível (Fig. 7), sucessivamente, na direção longitudinal, nas posições a, b, c, e d, e na direção transversal, nas posições e e f.

Após esta primeira etapa, deve ser verificada a retitude das guias (ou retitude do movi-

mento do carro longitudinal). Notar que essa verificação é independente do nivelamento da máquina, particularmente no caso de grandes barramentos. Para efetuar correções locais, à medida que é feita a verificação da máquina, usar os parafusos de nivelamento existentes ao longo do barramento.

Na instalação de fresadoras, a mesa da máquina deve estar na posição horizontal.

É conveniente seguir as instruções do fabricante para a instalação correta da máquina e para a execução de fundações adequadas que, em certos casos, são indispensáveis.

### 3.2 Condição da máquina antes dos ensaios

**3.2.1 Desmontagem de certos elementos —** Como, em princípio, os ensaios são efetuados em uma máquina completamente montada, a desmontagem de certos elementos deve ser feita, somente, em circunstâncias excepcionais, de acordo com as instruções do fabricante, por ex.: desmontar a mesa de uma retificadora com a finalidade de verificar o nivelamento das guias.

**3.2.2 Estabilização de temperatura de certas partes da máquina antes dos ensaios —** O objetivo é verificar a precisão da máquina sob condições tão próximas quanto possível das suas condições normais de funcionamento, particularmente quanto à lubrificação e aquecimento. Durante os ensaios geométricos e os ensaios práticos, elementos como a árvore e o cabeçote que estão sujeitos a aquecimento e conseqüentemente à mudança de posição ou forma, devem ser levados à temperatura correta, pelo funcionamento da máquina em vazio, de acordo com as condições de uso e as instruções do fabricante.

**3.2.3 Funcionamento e carregamento —** Os ensaios geométricos são executados com a máquina parada ou funcionando em vazio. Quando especificado pelo fabricante, como no caso de máquinas para trabalho pesado, esta deve ser carregada com uma ou mais peças de ensaio.

## 4. ENSAIOS PRÁTICOS

**4.1 Ensaio —** Os ensaios práticos devem ser realizados com peças cuja fabricação não necessite outras operações, além daquelas para as quais a máquina foi construída. Na determinação da precisão da máquina-ferramenta, devem ser executados ensaios práticos com operações de acabamento condizentes com o projeto da máquina. É essencial que esses ensaios sejam executados cuidadosamente.

O número de peças, ou o número de pas-

ses em determinadas peças, deve ser tal que possibilite determinar a precisão média de trabalho. Levantar em conta o desgaste da ferramenta utilizada, se houver necessidade.

O tipo de peça, suas dimensões, seu material, o grau de precisão a ser obtido e as condições de usinagem, devem ser escolhidos de comum acordo entre o fabricante e o usuário.

**4.2 Verificação das peças usinadas nos ensaios práticos —** A verificação das peças usinadas deve ser feita com instrumentos de medida selecionados, de acordo com o tipo de medida e o grau de precisão requeridos.

Utilizar, para essas verificações, as tolerâncias indicadas nos itens 2.3.2.1 e particularmente as dos itens 2.3.2.1.1 e 2.3.2.1.2.

**4.3 Importância dos ensaios práticos —** Os resultados dos ensaios práticos e das verificações geométricas, podem ser comparados nos pontos em que esses dois tipos de ensaios têm os mesmos objetivos. Quando houver dificuldades técnicas ou o custo da execução dos ensaios for elevado, a precisão da máquina pode ser determinada através das verificações geométricas.

Quando as verificações geométricas e os ensaios práticos, com os mesmos objetivos, não derem os mesmos resultados, os obtidos nos ensaios práticos devem ser os únicos aceitos como verdadeiros.

## 5. VERIFICAÇÕES GEOMÉTRICAS

**5.1 Generalidades —** Para as verificações geométricas de determinada característica de forma, posição ou deslocamento de linhas ou superfícies da máquina, por ex.:

Retitude	(item 5.2),
Planeza	(item 5.3),
Paralelismo, eqüidistância e coincidência	(item 5.4),
Ortogonalidade	(item 5.5) e
Rotação	(item 5.6),

são fornecidos os métodos de medida e meios para a determinação das tolerâncias.

Para cada ensaio, é indicado um método de medida e são apresentados os princípios e dispositivos utilizados.

Quando outros métodos de ensaio forem usados, as precisões desses métodos devem ser, pelo menos, iguais às fixadas nesta Recomendação.

Os métodos de medida apresentados nesta Recomendação foram escolhidos dentre aqueles que empregam instrumentos de ensaio

que são de utilização mais freqüente na indústria (régua, esquadros, mandris, cilindros de medida, níveis de bolha e relógios comparadores). Observar que outros métodos, principalmente os que utilizam dispositivos ópticos, são geralmente usados nos departamentos de fabricação e inspeção de máquinas-ferramenta.

Utilizar dispositivos especiais para maior facilidade e rapidez na execução dos ensaios de partes da máquina, com grandes dimensões.

**5.2 Retitude** — As verificações geométricas referentes à retitude são:

Retitude de uma linha em relação a dois planos (item 5.2.1),  
Retitude de componentes (item 5.2.2) e  
Retitude de movimento (item 5.2.3).

**5.2.1 Retitude de uma linha em relação a dois planos**

**5.2.1.1 Definição** — Uma linha é considerada uma reta, em um comprimento determinado se a variação das distâncias de seus pontos, a dois planos perpendiculares entre si e paralelos à direção da linha, permanecerem abaixo de um valor determinado para cada um dos planos.

Os planos de referência devem ser escolhidos de tal modo que sua intersecção seja paralela à reta que une dois pontos, convenientemente localizados, da linha a ser verificada. Esses pontos devem estar próximos das extremidades do comprimento a ser verificado.

**5.2.1.2 Método de medida** — Para comprimentos abaixo de 1.600 mm, é recomendável utilizar nível ou régua. Para comprimentos acima

de 1.600 mm, é recomendada a utilização de nível ou dispositivos ópticos (autocolinação, método do arame e microscópio).

**5.2.1.2.1 Método de medida com régua** — Uma régua deve ser colocada sobre dois blocos que devem estar, de preferência, localizados nos pontos correspondentes à mínima deflexão.

A medida é obtida pela movimentação, ao longo da régua, de um suporte com um relógio comparador cujo apalpador esteja em contato com a régua e apoiado, através do suporte, na superfície a ser verificada (Fig. 8).

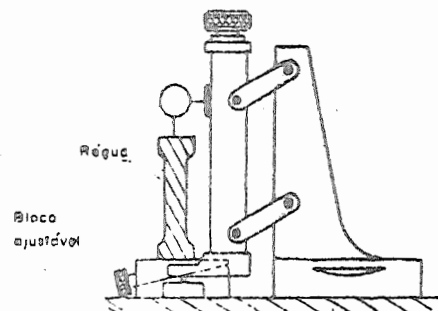


FIG. 8

A régua é posicionada de modo a dar leituras iguais nas extremidades da linha, por meio de blocos ajustáveis. Os erros da linha AMB podem ser determinados diretamente em relação à linha reta AB, que passa pelas extremidades (Fig. 9a).

A régua pode, também, ser posicionada sem que dê leituras iguais nas extremidades. As leituras são colocadas em um gráfico e os erros são determinados em relação à reta AB (Fig. 9b).

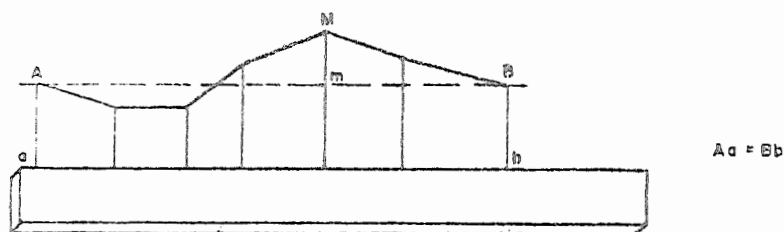


FIG. 9a

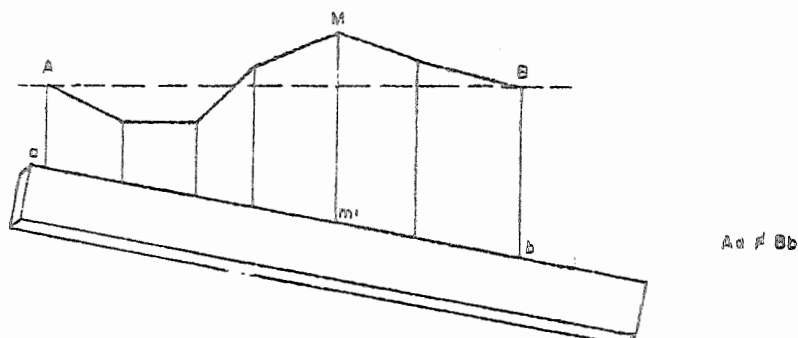


FIG. 9b



**5.2.1.2.2 Método de medida com nível\* ou autocolimador** — No método de medida com nível, o plano de referência é o plano horizontal.

No método de autocolimação a linha de referência é um raio de luz.

As medidas são feitas sucessivamente em pontos equidistantes. Os ângulos são colocados em um gráfico e a linha AB é verificada em relação à direção geral XY (Fig. 10).

Os desvios MN, perpendiculares a essa linha, não devem exceder à tolerância especificada.

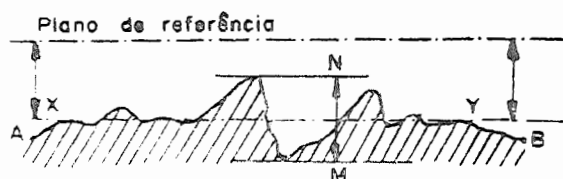


FIG. 10

#### 5.2.1.2.2.1 Método de medida com nível

a) Quando a linha é aproximadamente horizontal — A reta inicial de referência é definida pela linha reta omX, sendo o e m dois pontos da linha a ser verificada (Fig. 11).

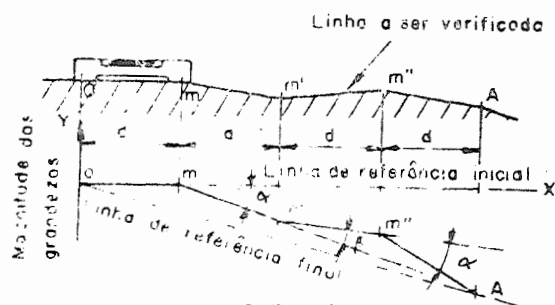


FIG. 11

O nível é colocado sobre om, e sucessivamente deslocado para mm', m'm'', sendo as distâncias om, mm', iguais a um valor d relacionado com o comprimento total oA a ser verificada (d, na prática, varia entre 100 e 500 mm).

As leituras do nível, nas posições mm', m'm'', são comparadas com a leitura do nível na posição inicial om. Se o nível permitir regulação, deve ser colocado em zero na posição inicial, de modo a obter, nas operações seguintes, uma leitura direta das posições das linhas mm', m'm'', em relação a omX. Quando a distância oA for percorrida, fazer medidas no sentido oposto Ao nos mesmos pontos, calculando a média dos valores medidos. Assim, todos os elementos necessários para traçar a linha omm'm''A, podem ser obtidos.

(\*) Pode ser de bolha de ar ou eletrônico, tipo pêndulo.

Para eliminar erros locais durante a medida, o nível não deve ser apoiado em toda extensão de sua base sobre a linha a ser medida. A base deve ser tal que tenha apoio, somente nas extremidades (MF-A5-00.00); em caso contrário, o nível deve ser apoiado sobre dois blocos padrão de mesma espessura, ou sobre um suporte com dois apoios separados por uma distância d.

A base do nível ou seu suporte, conforme o caso, bem como as superfícies sobre as quais o nível é apoiado durante o ensaio, devem estar cuidadosamente limpas.

b) Quando a linha não é horizontal — Quando a linha é inclinada, o procedimento anterior pode ser aplicado, desde que seja utilizado um suporte com ângulo igual ao de inclinação da linha em relação ao plano horizontal (Fig. 12).

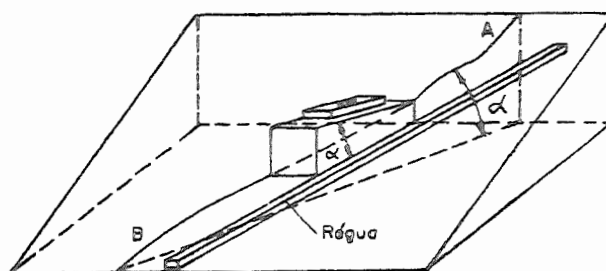


FIG. 12

Durante a verificação da linha AB, o nível, juntamente com o seu suporte, deve ser mantido em uma direção constante, guiado por uma régua.

O nível permite verificar apenas a retitude em um plano vertical; para verificar a linha em um segundo plano, utilizar, por exemplo, método do arame e microscópio.

**5.2.1.2.2.2 Verificação óptica** — Métodos utilizando dispositivos ópticos podem ser usados para verificação da retitude de uma linha. Os mais comuns são: de autocolimação (medida de inclinações), e o que utiliza luneta de alinhamento (medida de desvios).

a) Método de autocolimação — Utiliza uma luneta com fonte luminosa e ocular micrométrica (Fig. 13). Qualquer rotação do espelho móvel E, em torno de um eixo horizontal, provoca um deslocamento vertical da imagem do retículo no plano focal. A medida desse deslocamento, que pode ser feita com uma ocular micrométrica, permite determinar o desvio angular da base do espelho.

b) Método que utiliza luneta de alinhamento de precisão — A medida do desvio  $\alpha$ , corresponde à distância entre o eixo óptico da

luneta e o centro do alvo. É feita diretamente no retículo do alvo, ou por meio de um micrômetro (Fig. 14).

de medida  $XY$ , com o auxílio de um microscópio colocado verticalmente e equipado com um dispositivo horizontal micrométrico para medidas

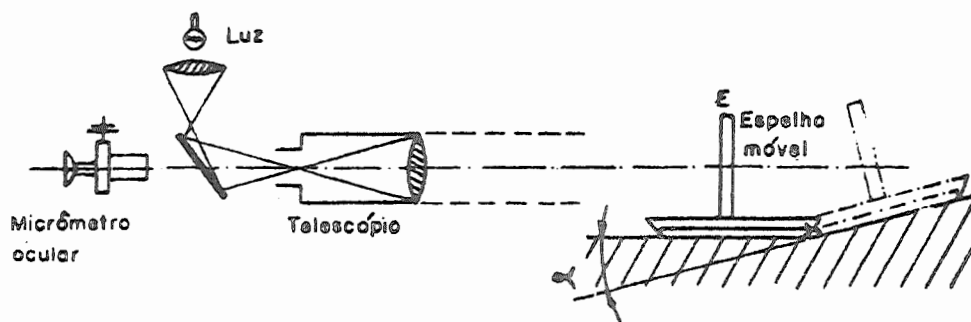


FIG. 13

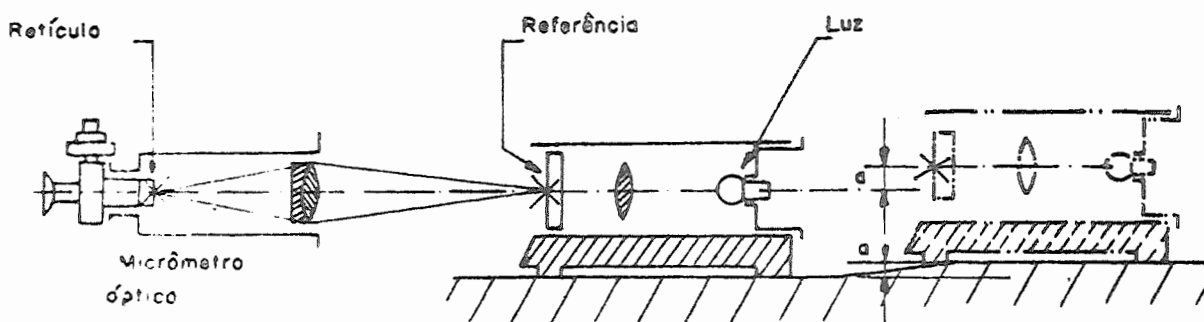


FIG. 14

5.2.1.2.3 Verificação com o uso do arame e microscópio — Utiliza um arame de aço, ou corda de nylon, tendo um diâmetro de cerca de 0,1 mm, retesado de modo a ficar aproximadamente paralelo a linha a ser verificada (Fig. 15). No caso da linha  $MN$ , localizada em um plano horizontal, é possível medir o desvio entre a linha e o arame, no plano horizontal

de deslocamento.

Esse método deve ser evitado quando a flecha ( $f$ ), do arame tiver que ser considerada. Na representação da Figura 15, com um microscópio colocado horizontalmente, seria possível medir a retitude da linha  $RS$  em um plano vertical, se a flecha  $f$  do arame fosse conhecida em cada ponto; mas é extremamente difícil a

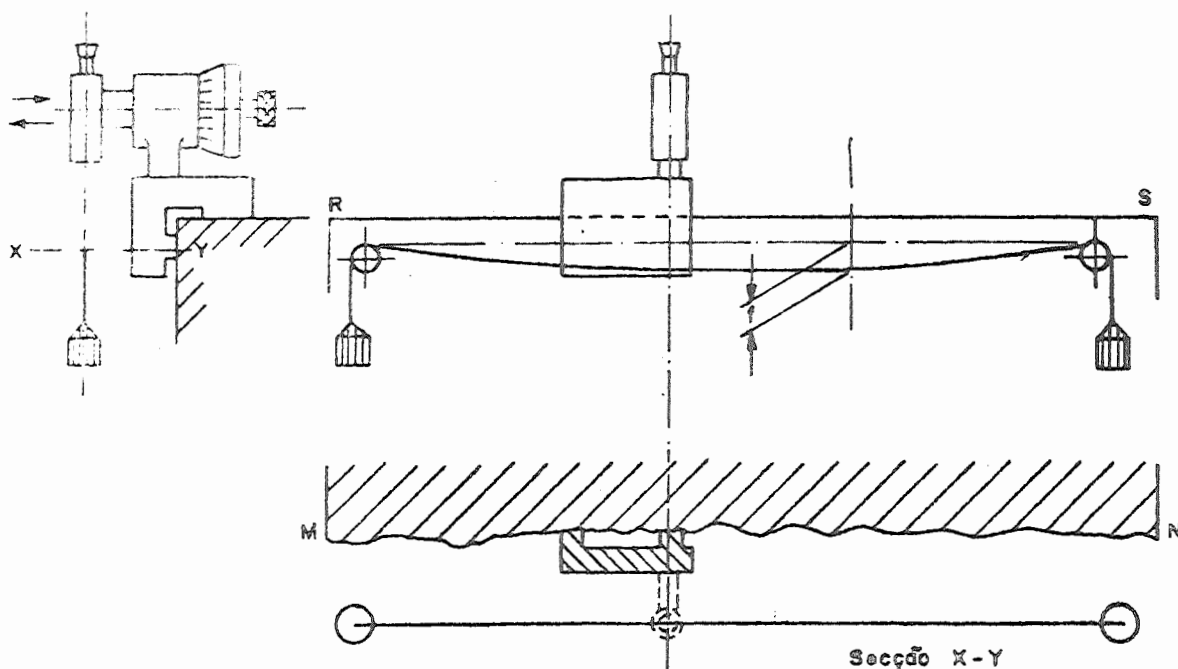


FIG. 15

determinação dessa flecha, com precisão adequada.

**5.2.1.3 Tolerância** — A tolerância de retitude de uma linha é o máximo desvio permissível em relação à linha reta, de referência, que liga as duas extremidades da linha a ser verificada (Fig. 10).

O intervalo de medida, o comprimento a ser verificado e a posição da tolerância em relação à linha reta, ou ao plano de referência, acima definidos, devem ser especificados.

Na maioria dos casos, as partes próximas às extremidades, que geralmente provocam erros locais desprezíveis, podem ser dispensadas.

## 5.2.2 Retitude de componentes

**5.2.2.1 Definição** — As condições de retitude de um componente são idênticas às de uma linha (item 5.2.1.1). Este item é aplicável às guias de máquinas-ferramenta.

**5.2.2.2 Métodos de medida** — Os métodos indicados, dos itens 5.2.1.2.1 e 5.2.1.2.3, são aplicáveis às guias planas.

Para guias em "V", o nível é apoiado em um cilindro ou uma peça intermediária, com o perfil da guia (Fig. 16).

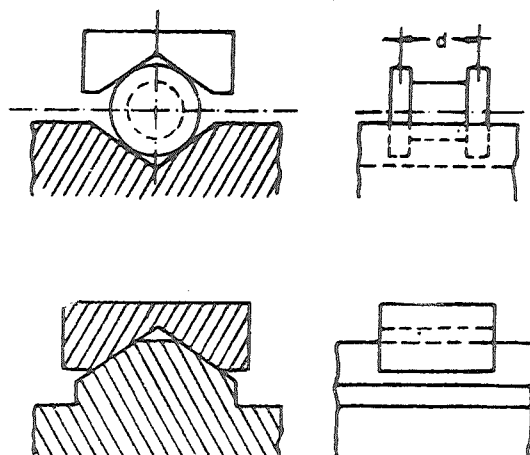


FIG. 16

Um suporte (2), conforme representado na Figura 17, também pode ser usado. Esse permite:

a) Verificar as guias na direção longitudinal, medindo a retitude em um plano vertical através de um nível apoiado em (A) e (B) e, medindo a retitude em um plano horizontal, pelo método do arame (3) e microscópio (1).

b) Verificar as guias, na direção transversal, com um nível apoiado em (B) e (C).

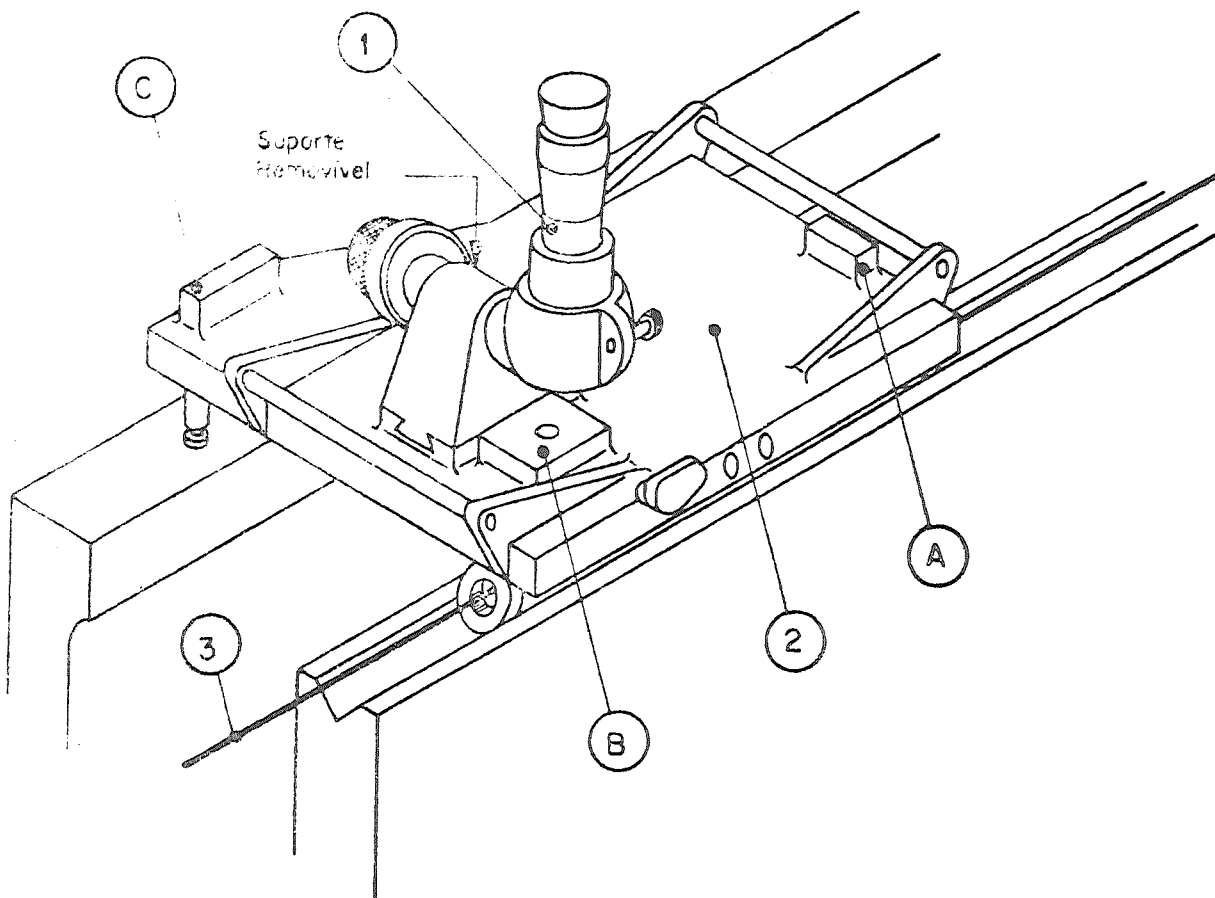


FIG. 17

**5.2.2.3 Tolerâncias** — As tolerâncias são as mesmas definidas no item 5.2.1.3 .

### 5.2.3 Retitude de movimento

**5.2.3.1 Definições** — Na retitude de movimento de um componente é verificado o paralelismo da trajetória de um ponto desse componente a uma linha de referência, paralela à direção geral do movimento.

A expressão, precisão de movimento retilíneo, refere-se a trajetória de um ponto de um componente da máquina, durante um movimento de trabalho ou posicionamento. É preferível verificar a retitude de movimento à verificar a retitude de guias ou barramentos. Esse é o único método que leva em conta todos os fatores que podem afetar o movimento.

Há vários casos de retitude de movimento:

- de um eixo em relação a si mesmo: quando um eixo em movimento mantém sua linha de centro na intersecção de dois planos ortogonais, cuja intersecção é definida pela mesma linha de centro do eixo em repouso,
- de uma superfície plana sobre si mesma: quando esta superfície permanece em seu próprio plano,
- de um componente paralelo a uma superfície ou a uma linha reta: quando qualquer ponto do componente permanece a uma distância constante da superfície ou da linha, e
- de um componente ortogonal a um determinado plano: quando cada ponto do componente descreve uma trajetória perpendicular ao referido plano (item 5.5.1.2.4, um eixo e um plano a 90° entre si).

**5.2.3.2 Métodos de medida** — Ensaio de retitude de movimento são, na realidade, verificações de paralelismo ou ortogonalidade idênticos àqueles descritos nos itens 5.4 e 5.5, desta Recomendação.

**5.2.3.2.1 Verificação com régua e relógio comparador** — O relógio comparador deve ser fixado no elemento móvel da máquina e o apalpador deve deslizar ao longo de uma régua, que representa a linha de referência (Fig. 18).

Quando o elemento móvel é um porta-ferramenta, o relógio comparador deve ser montado de modo que o apalpador fique em uma posição próxima da posição de contato, peça/ferramenta, em condições normais de trabalho. Assim é possível determinar, até a influência e movimentos secundários do elemento móvel, "stick-slip", ondulação, movimento interrompido

e outros. Pelo mesmo motivo, o elemento móvel deve ser acionado de forma idêntica à de trabalho normal (item 5.2.1.2.1) .

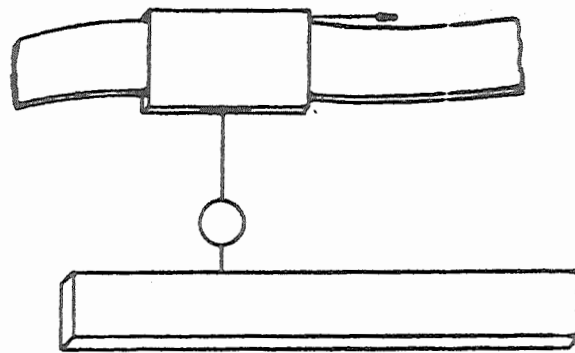


FIG. 18

**5.2.3.2.2 Verificação com arame e microscópio** — Quando o percurso é longo, a linha de referência pode ser representada por um arame de aço ou corda de nylon, convenientemente esticados. O relógio comparador é substituído por um microscópio. Os desvios são lidos diretamente na escala da ocular (item 5.2.1.2.3) .

**5.2.3.2.3 Verificação da retitude de movimento do carro de um torno** — Esta é efetuada somente no plano horizontal.

a) Cursos até 1.600 mm: usar um mandril colocado entre pontas.

Fixar o relógio comparador no porta-ferramenta, encostando o apalpador na superfície do mandril. Este deve ser colocado no cone da árvore de modo a dar o menor erro total de giro; fazer a verificação. Girar, apenas o mandril, de 180° e repetir a verificação. O valor médio das leituras é a medida. Como alternativa usar o mandril entre pontas. Posicionar o mandril entre pontas de modo a obter leituras idênticas em ambas as extremidades. Isto pode ser conseguido com o ajuste da contra-ponta.

Fazer uma primeira leitura ao longo da superfície. Girar o mandril de 180° e fazer uma segunda leitura.

Inverter a posição das extremidades do mandril e repetir as duas precedentes. A média das quatro leituras elimina os possíveis erros devidos ao mandril.

b) Cursos acima de 1.600 mm: pode ser utilizado o método do arame e microscópio (item 5.2.1.2.3), sendo o arame esticado entre os centros. O operador visa o arame através de um microscópio vertical, fixado transversalmente no carro. Visar em várias posições do carro longitudinal, ao longo do barramento.

O método óptico, com luneta de alinhamento, também pode ser utilizado (item

5.2.1.2.2.2 — b). Nessa aplicação, em particular, devem ser usados dois alvos, um móvel, preso ao carro e outro, fixo na extremidade oposta à luneta, com a finalidade de eliminar o efeito da mudança de posição da linha de referência, devido à deformação do barramento com o movimento do carro.

**5.2.3.3 Tolerância** — A tolerância de retitude de movimento é o máximo desvio permissível, em relação a uma linha reta, da trajetória de um ponto do componente móvel.

O desvio, no plano indicado, pode ser em qualquer sentido e distribuído ao acaso, ao longo do percurso. Se, por qualquer razão, o desvio só é permissível em um único sentido, isto deve ser especificado: "convexo somente no plano vertical".

### 5.3 Planeza

**5.3.1 Definição** — Uma superfície é considerada plana, dentro de um intervalo de medida, quando a variação da distância de seus pontos a um plano geométrico, paralelo ao plano a ser ensaiado, permanece abaixo de um determinado valor. O plano geométrico pode ser representado por meio de uma placa plana, ou por uma família de linhas retas, obtidas pelo deslocamento de uma régua, por um nível, ou raio de luz.

#### 5.3.2 Métodos de medida

**5.3.2.1 Verificações de planeza usando placa plana** — Nas medições com placa plana, esta é coberta com "rouge" de joalheiro, ou com óxido de cromo disperso em óleo fino. Assim coberta, é apoiada sobre a superfície a ser medida. Aplicar ligeiros movimentos alternados. Com a remoção da placa plana é verificada a distribuição dos pontos de contato com sua superfície. A densidade de distribuição deve ser uniforme sobre toda a área da superfície e igual a um determinado valor. O método é aplicável somente a superfícies pequenas, com bom acabamento superficial (superfícies rasqueteadas ou retificadas).

**5.3.2.2 Verificação de planeza por meio de uma família de linhas retas, obtidas pelo deslocamento de uma régua** — Determinar, inicialmente, o plano teórico sobre o qual os pontos de referência devem estar localizados. Com esse fim, selecionar três pontos a, b e c como referência na superfície a ser ensaiada (Fig. 19). Três blocos padrão, de igual espessura, são colocados naqueles pontos de modo que a superfície superior dos blocos, defina o plano de referência ao qual a superfície será comparada. Um quarto

ponto d, no plano de referência, deve ser selecionado com o auxílio de um calço, de altura ajustável, da seguinte maneira: apoiar uma régua em a e c e colocar um calço ajustável em ponto e da superfície e em contato com a superfície inferior da régua. As superfícies superiores dos blocos colocados em a, b, c e e estão, portanto, em um mesmo plano. A localização do ponto d é feita com a régua em b e e; um calço ajustável é colocado no ponto d e em contato com a face inferior da régua. Apoiando a régua nos pontos a e d, e depois em b e c, serão localizados os pontos intermediários da superfície de referência. Quando necessário, levar em conta a flecha da régua.

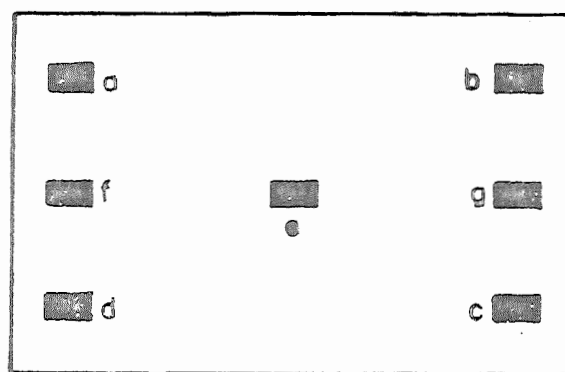


FIG. 19

Para obtenção de leituras, no interior do retângulo ou quadrado já definido, colocar, por exemplo, nos pontos f e g empilhamento de blocos padrão com a altura correta. Apoiar a régua sobre estes e medir o desvio, entre a superfície a ser ensaiada e a régua, utilizando blocos padrão. Para ensaiar a retitude, usar um instrumento como o indicado na Figura 8.

**5.3.2.3 Verificação de planeza com auxílio de um nível** — O plano de referência é determinado por duas retas  $oX$  e  $o'o'Y$ , sendo o, m e o', três pontos da superfície a ser verificada (Fig. 20).

Escolher, preferivelmente, as linhas  $oX$  e  $o'Y$ , perpendiculares entre si e, quando possível, paralelas aos lados da superfície a ser verificada. Iniciar a verificação em um ponto o da superfície e na direção  $oX$ . Determinar o perfil para cada linha  $oA$  e  $oC$ , conforme o método indicado no item 5.2.1.2.2.1. Determinar o perfil das linhas longitudinais  $o'A'$ ,  $o''A''$ , . . . e  $CB$ , de modo a cobrir toda a superfície.

Suplementar, se necessário, verificações segundo  $mM$ ,  $m'M'$  . . . , para conferir as medidas anteriores.

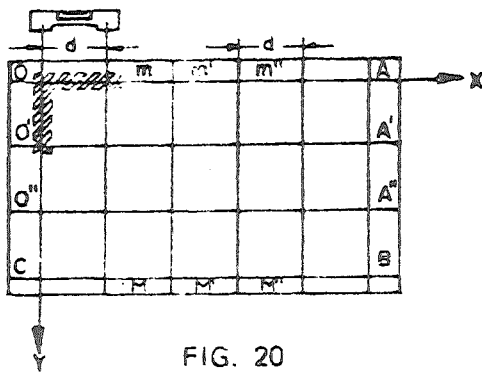


FIG. 20

Quando a largura da superfície a ser verificada é significativa em relação ao comprimento, é conveniente medir, também, ao longo de diagonais, para confirmação dos resultados.

**5.3.2.4 Verificação de planeza por métodos ópticos** — As retas  $oX$  e  $oY$ , que definem o plano de referência, são determinadas pelo eixo óptico da luneta em duas posições, se possível, a  $90^\circ$  entre si. Seguir o método indicado no item 5.2.1.2.2.2 :

### 5.3.3 Tolerâncias

Os desvios de planeza são indicados como seguem:

— erro de planeza: . . . . .  $\mu\text{m}$   
ou mm por m, quando admissíveis tanto em superfícies côncavas como convexas,

— côncavo até . . . . .  $\mu\text{m}$   
ou mm, quando entre as extremidades, somente superfícies côncavas, são admissíveis,

— convexo até . . . . .  $\mu\text{m}$   
ou mm, quando entre as extremidades, somente superfícies côncavas, são admissíveis,

As tolerâncias não são, obrigatoriamente, as mesmas em todas as direções. Geralmente a verificação é feita nas direções longitudinal e transversal. Em cada caso, deve ser indicada a tolerância aplicável.

Os resultados de verificação são bastante influenciados pela superfície de contato do instrumento de medida. É necessário definir essa superfície de contato.

Ex.: contato:  $30 \times 200$  mm movendo na direção do comprimento, ou contato plano  $\varnothing 50$  mm, ou contato esférico  $\varnothing 20$  mm.

Em certas condições de trabalho, devem ser fixados os limites ou extremidades, para a superfície a ser verificada.

**5.4 Paralelismo, eqüidistância e coincidência** — A verificação compreende os seguintes itens:

Paralelismo de linhas e planos (item 5.4.1),  
Paralelismo de movimento (item 5.4.2),

Eqüidistância (item 5.4.3),  
Coincidência ou alinhamento (item 5.4.4).

### 5.4.1 Paralelismo de linhas e planos

**5.4.1.1 Definições** — Uma reta é paralela a um plano se, a máxima diferença das medidas de suas distâncias, ao plano em um determinado comprimento, não exceder a um valor pré-estabelecido.

Duas retas são paralelas entre si quando uma dessas retas é paralela a dois planos que contenham a outra reta. Os desvios admissíveis não são necessariamente os mesmos nos dois planos.

Dois planos são paralelos entre si quando as distâncias entre eles, medidas em qualquer ponto da superfície, em pelo menos duas direções, não exceder em um valor admitido, para um comprimento especificado.

O erro máximo é a diferença entre a maior e a menor leitura obtida no ensaio.

Essas diferenças são medidas em determinados planos (horizontal, vertical, perpendicular à superfície em questão, planos que interceptam os eixos e outros), em um determinado comprimento: 300 mm, ou sobre toda a superfície.

### 5.4.1.2 Métodos de medida

**5.4.1.2.1 Geral, para eixos** — Quando a verificação de paralelismo envolver eixos, estes devem ser representados por superfícies cilíndricas de alta precisão de forma, acabamento superficial adequado e comprimento suficiente. Se a superfície da árvore não satisfizer essas condições ou se for uma superfície interna onde não haja possibilidade de apoiar um apalpador, deve ser usado um mandril de verificação como superfície cilíndrica auxiliar.

Centrar e fixar o mandril na extremidade do eixo ou furo (cilíndrico ou cônico).

Quando o mandril for encaixado na árvore, admitir uma certa tolerância pois é impossível centrar o mandril, exatamente no eixo de rotação. Quando a árvore está girando, o eixo do mandril descreve um hiperbolóide (ou superfície cônica, se o eixo do mandril intercepta o eixo de rotação), atingindo duas posições  $BB'$  no plano de ensaio (Fig. 21).

O ensaio de paralelismo pode, nessas condições, ser efetuado em qualquer posição da árvore, devendo ser repetido depois de girar a árvore de  $180^\circ$ . O erro de paralelismo em um determinado plano é obtido pela média algébrica das duas leituras.

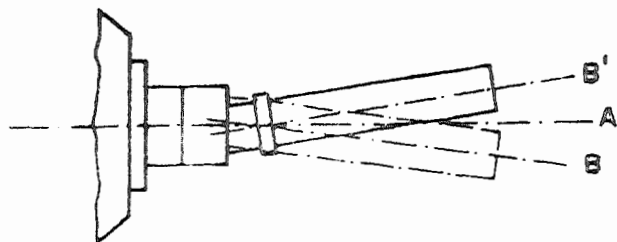


FIG. 21

5.4.1.2.2 Paralelismo de dois planos — O instrumento de medida é preso em um suporte com base plana e o conjunto é movido em um dos planos de uma distância especificada. O apalpador deve deslizar ao longo do segundo plano (Fig. 22).

Este ensaio é feito em duas direções, preferivelmente perpendiculares entre si.

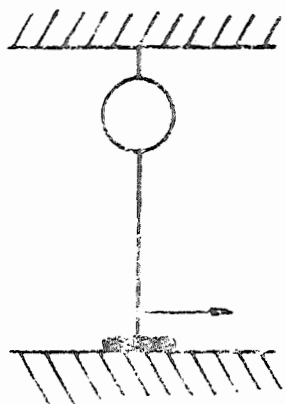


FIG. 22

5.4.1.2.3 Paralelismo de dois eixos — Este ensaio é feito em dois planos, sendo um que contenha os dois eixos\* e outro, perpendicular ao primeiro plano.

5.4.1.2.3.1 Plano contendo dois eixos — O instrumento de medida é fixado a um suporte cuja base possua um formato adequado, de maneira que deslize ao longo de um cilindro que represente um dos dois eixos; o apalpador é movido ao longo do cilindro, que representa o segundo eixo. Para determinar o desvio mínimo entre os eixos, em qualquer ponto, o instrumento deve ser cuidadosamente girado em uma direção perpendicular aos eixos (Fig. 23). Se necessário, a deflexão do cilindro, devido ao peso próprio e do instrumento de medida, deve ser considerada durante os ensaios.

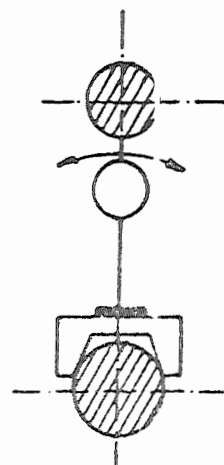


FIG. 23

5.4.1.2.3.2 Plano perpendicular ao primeiro — Para este ensaio é necessário um plano adicional, e se possível, paralelo ao que contém os dois eixos.

Se esse plano adicional já existe, por serem os dois eixos paralelos à uma superfície da máquina, deve ser determinado o paralelismo de cada um dos eixos, separadamente, em relação à superfície (item 5.4.1.2.4). Se não existe, o ensaio deve ser realizado em relação a um plano teórico, com auxílio de um nível ajustável. Com esta finalidade, apoiar o nível sobre os dois cilindros, que representam os eixos, e colocar o nível em zero. Se os dois eixos não estiverem no mesmo plano horizontal, utilizar um suporte auxiliar (Fig. 24), para pequenos ângulos de inclinação, ou um esquadro, fixo ou ajustável (Fig. 25), para ângulos de inclinação maiores.

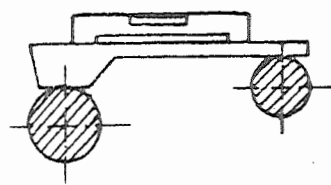


FIG. 24

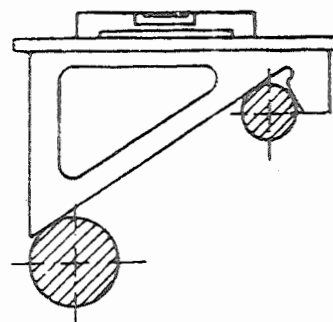


FIG. 25

(\*) Plano contendo um dos dois eixos passando o mais próximo possível um do outro.

Deslocar o nível ao longo dos eixos em um comprimento especificado e efetuar as leituras. Expressar as medidas em termos da distância entre os eixos. Se o nível indicar  $60 \mu/m$  para uma distância entre eixos de 300 mm, o erro de paralelismo é:  $60 \times 0,3 = 18 \mu m$ .

5.4.1.2.4 Paralelismo de um eixo a um plano -- O instrumento de medida é fixado a um suporte com base plana e deslocado ao longo do plano de uma distância especificada. O apalpador deve ser deslocado ao longo do cilindro que representa o eixo (Fig. 26).

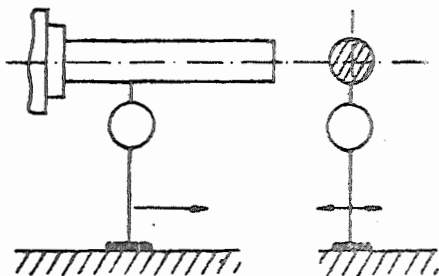


FIG. 26

Em cada ponto de medida, determinar a distância mínima movendo, ligeiramente, o instrumento de verificação em uma direção perpendicular ao eixo.

No caso de um eixo oscilante, é suficiente efetuar o teste na posição média e nas duas posições extremas (Fig. 27).

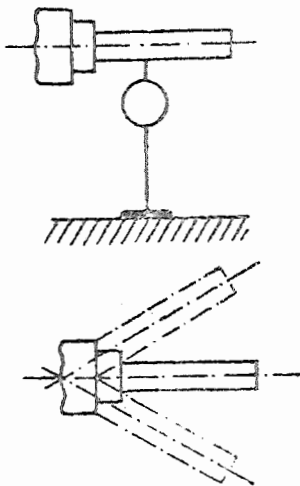


FIG. 27

5.4.1.2.5 Paralelismo de um eixo à interseção de dois planos -- O instrumento de medida é fixado a um suporte com uma base de formato adequado, apoiado nos dois planos. O instrumento é deslocado em um comprimento especificado, ao longo da interseção dos dois planos, enquanto o apalpador é deslocado ao longo do cilindro que representa o eixo (Fig. 28). A verificação

deve ser feita, sempre que possível, em dois planos perpendiculares escolhidos dentre os de maior importância no funcionamento da máquina.

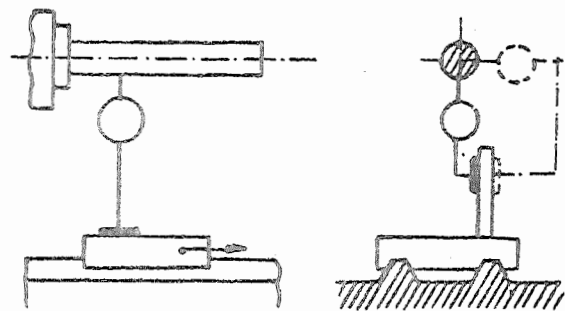


FIG. 28

5.4.1.2.6 Paralelismo de interseção de dois planos em relação a um terceiro plano -- Esta verificação deve ser feita, como especifica o item 5.4.1.2.5, deslocando o apalpador do instrumento de medida ao longo do terceiro plano. Durante as medidas, o relógio comparador deve estar perpendicular ao terceiro plano (Fig. 29).

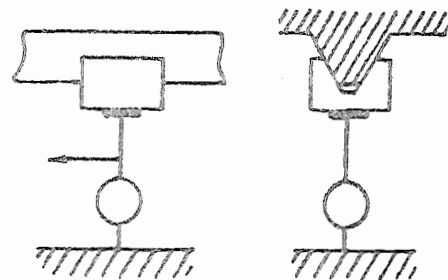


FIG. 29

5.4.1.2.7 Paralelismo entre duas retas, sendo cada uma a interseção de dois planos -- Esta verificação pode ser realizada conforme o item 5.4.1.2.5. O apalpador do instrumento de medida deve ser apoiado em um bloco com formato adequado, e deslocado ao longo dos planos que formam a segunda interseção. A verificação deve ser feita em dois planos perpendiculares (Fig. 30).

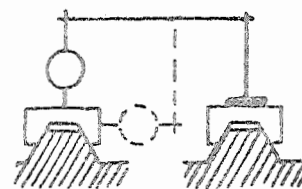


FIG. 30



Esse método exige uma montagem bastante rígida do instrumento de medida. Esta condição pode ser satisfeita somente no caso das duas intersecções estarem próximas uma da outra. Para verificação do paralelismo em um plano vertical deve ser utilizado como regra, um nível (Fig. 31).

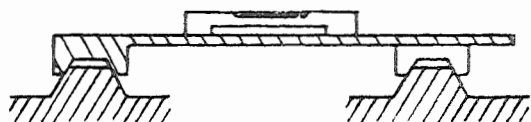


FIG. 31

Se uma verificação direta do paralelismo de planos e ou retas é difícil, devido a interferência de componentes da máquina no campo de medida, a verificação deve ser feita em relação a um plano auxiliar, por exemplo, um plano horizontal determinado por um nível.

**5.4.1.3 Tolerâncias** — Os desvios permissíveis de paralelismo de retas ou planos, são apresentados como segue:

erro de paralelismo: . . . . .  $\mu\text{m}$  ou  $\text{mm}$ .

Se o paralelismo for verificado somente em um determinado comprimento, este deve ser especificado: 0,02 mm em 300 mm.

Normalmente, o sentido do desvio não é importante. Todavia, se o erro de paralelismo é permitido em apenas um sentido, o sentido deve ser indicado: nariz da árvore somente ascendente (em relação à mesa).

Lembrar que a tolerância de paralelismo engloba a tolerância de forma das correspondentes linhas e superfícies e que o resultado da verificação, depende da superfície de contato dos instrumentos de medida, deve ser especificada.

#### 5.4.2 Paralelismo de movimento

**5.4.2.1 Definição** — O termo paralelismo de movimento faz referência à posição da trajetória de uma parte móvel da máquina em relação a: um plano (suporte ou guia),

uma linha reta (eixos, intersecção de planos),  
ou

uma trajetória de um ponto, de um outro componente móvel da máquina.

#### 5.4.2.2 Métodos de medida

**5.4.2.2.1 Generalidades** — Os métodos de medida são idênticos aos usados nos ensaios de paralelismo de linhas e planos. Sempre que, nos ensaios, estiverem envolvidos movimentos dos instrumentos de medida, os componentes móveis devem ser usados como base de suporte dos

relógios comparadores, ou seja, os instrumentos devem ser presos no componente móvel.

O componente móvel deve, sempre que possível, ser acionado da maneira usual, para permitir a determinação dos erros e folgas reais das guias.

#### 5.4.2.2.2 Paralelismo entre uma trajetória e um plano

**5.4.2.2.2.1** O plano faz parte do componente móvel — O relógio comparador é preso a um componente fixo da máquina e o apalpador é apoiado perpendicularmente à superfície a ser ensaiada. O componente móvel deve ser deslocado no intervalo de medida fixado (Fig. 32).

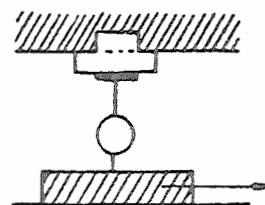


FIG. 32

**5.4.2.2.2.2** O plano não pertence ao componente móvel — O instrumento de medida é fixado ao componente móvel e deslocado no intervalo de medida estabelecido; o apalpador é apoiado perpendicularmente e deslocado ao longo da superfície (Fig. 33).

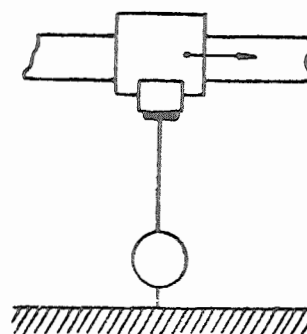


FIG. 33

Se o apalpador não puder ser apoiado diretamente na superfície, por ex.: em superfícies laterais de rasgos estreitos, usar um dispositivo adequado (Fig. 34).

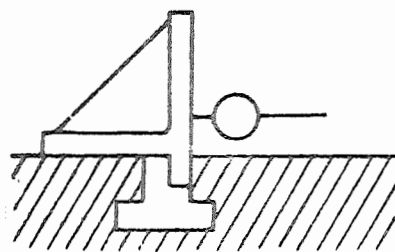


FIG. 34

#### 5.4.2.2.3 Paralelismo de uma trajetória em relação a um eixo

5.4.2.2.3.1 O eixo faz parte do componente móvel – O relógio comparador é preso a um componente fixo da máquina e o apalpador é apoiado no cilindro que representa o eixo. O componente móvel é deslocado no intervalo de medida fixado.

5.4.2.2.3.2 O eixo não pertence ao componente móvel – O instrumento de medida é preso ao componente móvel e deslocado no intervalo estabelecido; o apalpador deve deslizar sobre o cilindro ou mandril que representa o eixo (Fig. 35).

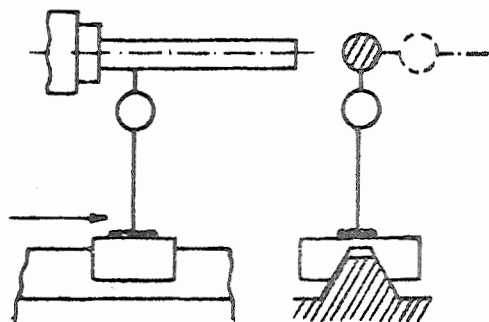


FIG. 35

A menos que todos os planos tenham a mesma importância, efetuar a verificação, nos dois planos perpendiculares de maior importância no funcionamento da máquina.

5.4.2.2.4 Paralelismo de uma trajetória em relação à intersecção de dois planos – Verificar, separadamente, o paralelismo de cada um dos planos em relação à trajetória, de acordo com o item 5.4.2.2.2. O paralelismo da intersecção decorre do paralelismo dos planos.

5.4.2.2.5 Paralelismo entre duas trajetórias – Um relógio comparador é preso a um dos componentes móveis da máquina, com o apalpador apoiado em um ponto da outra parte móvel. As partes são deslocadas juntas, no mesmo sentido, e da mesma quantidade especificada. Anotar as variações de leitura do instrumento de medida (Fig. 36).

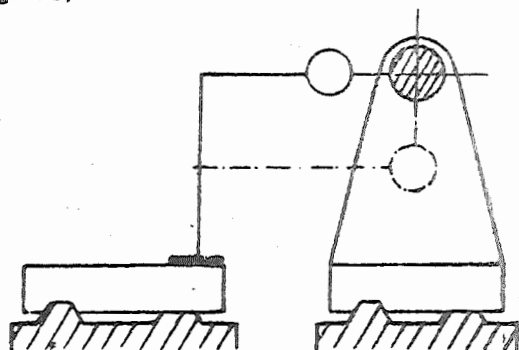


FIG. 36

5.4.2.3 Tolerância – A tolerância no paralelismo de movimento é a variação permissível da menor distância, entre a trajetória de um ponto da parte móvel, em relação a um plano, uma reta ou uma outra trajetória, dentro de um comprimento estabelecido.

Para a fixação da tolerância ver item 5.4.1.3.

#### 5.4.3 Eqüidistância

5.4.3.1 Definição – Eqüidistância é a igualdade nos afastamentos entre os eixos e um plano de referência. Existe eqüidistância quando o plano que passa pelos eixos é paralelo ao plano de referência. Os eixos podem ser diferentes, ou o mesmo eixo ocupando posições diferentes, depois de uma rotação em torno de outro eixo.

#### 5.4.3.2 Métodos de medida

5.4.3.2.1 Generalidades – O problema é idêntico ao do paralelismo entre um plano passando por dois eixos e um plano de referência.

A verificação da eqüidistância de dois eixos ou de um eixo, girando em torno de outro, em relação a um plano, é na realidade uma verificação de paralelismo (item 5.4.1.2.4). Inicialmente deve ser feito um ensaio para verificar se os dois eixos estão paralelos ao plano. Usar o mesmo relógio comparador nos dois cilindros que representam os eixos se estiverem à mesma distância do plano (Fig. 37).

É essencial considerar a diferença dos raios nas secções de ensaio, se os cilindros não forem idênticos.

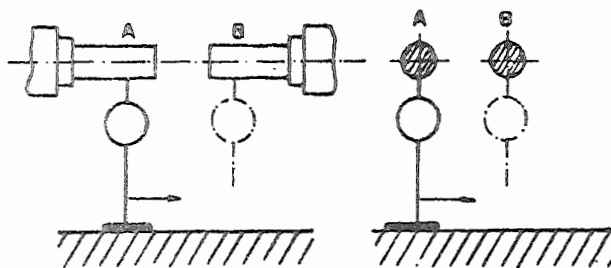


FIG. 37

5.4.3.2.2 Caso particular de eqüidistância de dois eixos ao plano de movimentação de um dos eixos – O plano de movimentação do componente que contém um dos eixos pode não ser acessível, impedindo o movimento do instrumento de medida. Neste caso é necessário estabelecer um plano adicional paralelo ao plano de movimentação (Fig. 38).

O posicionamento e a fixação desse plano auxiliar deve ser feito de modo que, quando um nível for colocado sobre ele, em duas direções perpendiculares, não ocorram variações de leitura durante a rotação do componente. Verificar a equidistância do eixo que sofre a rotação, na sua posição média e nas posições extremas, bem como a do eixo fixo, em relação ao plano auxiliar.

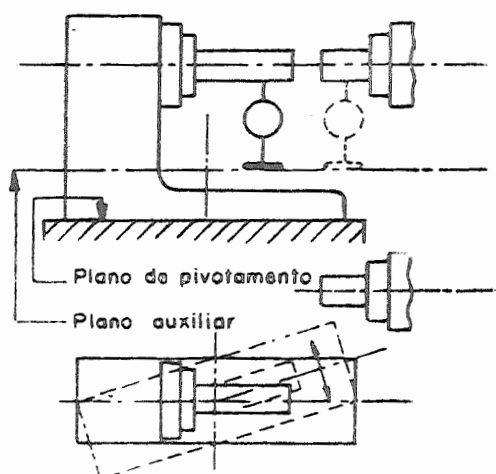


FIG. 38

Quando for usado um plano auxiliar, é conveniente colocar um relógio comparador na posição inicial e assegurar que nenhum deslocamento anormal tenha ocorrido durante a rotação.

**5.4.3.3 Tolerância** — A variação de distância permissível não deve ser precedida de um sinal e deve ser de um modo geral, válida em todas as direções paralelas ao plano de referência.

Se a variação é permitida em apenas um sentido, este deve ser especificado: eixo 1 somente acima do eixo 2.

#### 5.4.4 Coaxialidade ou alinhamento

**5.4.4.1 Definição** — Duas linhas ou dois eixos são coaxiais, coincidentes ou alinhados, quando a distância entre um ponto de um eixo e o outro não se modifica além de uma determinada tolerância, com uma rotação e com uma translação. A distância pode ser medida tanto sobre os eixos como sobre seus prolongamentos.

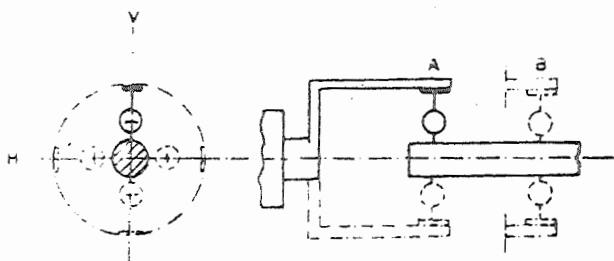


FIG. 39

**5.4.4.2 Método de medida** — O instrumento de medida é preso a um dispositivo que pode girar de 360° em torno de um dos eixos. O apalpador do instrumento de medida deve estar apoiado em uma seção A, no cilindro que representa, fisicamente, o segundo eixo (Fig. 39). As variações de leitura correspondem ao dobro do erro de coincidência. Como a seção escolhida para a medida pode ser a da intersecção dos eixos, fazer um segundo ensaio em outra seção.

Se o erro for determinado em dois planos específicos (planos H e V, Fig. 39), a variação das medidas deve ser anotada, separadamente, para cada plano.

É necessário, particularmente no caso de eixos horizontais, utilizar montagens bastante rígidas. Quando for exigida grande precisão, utilizar um suporte cuja deflexão, devida ao peso do relógio comparador, seja desprezível. Nestes ensaios, usar relógios comparadores leves.

Uma vez que a direção de medida varia durante a rotação, em relação a direção da gravidade, considerar a sensibilidade do dispositivo de ensaio em relação ao peso.

Quando um dos eixos é de rotação, o suporte do instrumento de medida pode ser fixado ao mandril e a rotação é efetuada pelo próprio eixo. Se o instrumento de medida deve girar em torno de um eixo fixo, o instrumento deve ser montado com uma bucha rotativa, com folga mínima. Esta bucha deve ser suficientemente longa para assegurar que a leitura não seja afetada pela folga de bucha (Fig. 40).

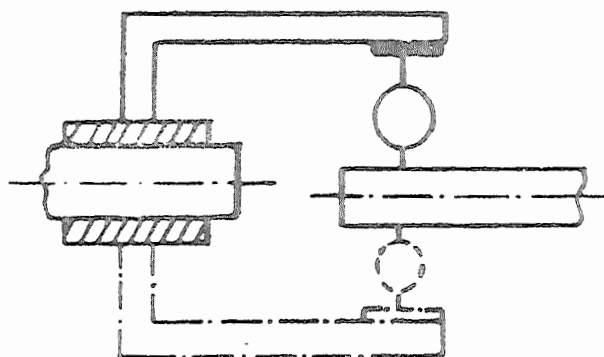


FIG. 40

Se ambos os eixos são de rotação, o cilindro deve estar fixado na posição média da precisão de giro no plano de ensaio (item 5.4.1.2.1).

**5.4.4.3 Tolerância** — Quando não for importante a direção do desalinhamento dos dois eixos ou linhas, a tolerância é expressa: erro de alinhamento do eixo 1 ao eixo 2 . . . . .  $\mu\text{m}$  (ou mm), em determinado comprimento.

Nos casos particulares, dar uma indicação adicional conveniente para as condições de funcionamento: eixo 1 somente acima do eixo 2, ou extremidade livre do eixo 1 somente para a frente em relação ao eixo 2.

Em certos casos pode ser útil introduzir, além da tolerância de coaxialidade, uma tolerância adicional de paralelismo entre os dois eixos (Fig. 41):

a) Erro de alinhamento do eixo 1 em relação ao eixo 2:  $T \mu\text{m}$  ou  $\text{mm}$ , em um determinado comprimento;

b) Erro de paralelismo entre o eixo 1 e o eixo 2:  $T' \mu\text{m}$  ou  $\text{mm}$ , em um determinado comprimento ( $T' < T$ ).

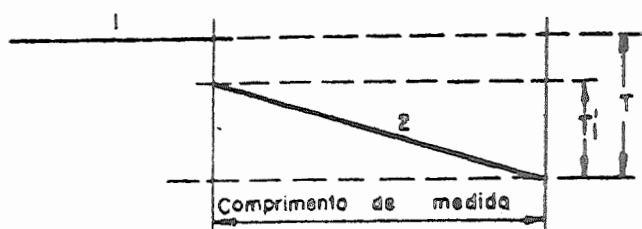


FIG. 41

**5.5 Ortogonalidade** — Esta verificação compreende:

Ortogonalidade de retas e planos (item 5.5.1),  
Ortogonalidade de movimentos (item 5.5.2).

#### 5.5.1 Ortogonalidade de retas e planos

**5.5.1.1 Definição** — Dois planos, duas retas ou uma reta e um plano são ortogonais quando o erro de paralelismo, em relação a um esquadro padrão, não exceder a um determinado valor. O instrumento de referência pode ser um esquadro de precisão, ou um nível com esquadro, ou pode ser constituído por planos, ou linhas cinemáticas.

#### 5.5.1.2 Métodos de medida

**5.5.1.2.1 Generalidades** — Na prática, a verificação de ortogonalidade é uma verificação de paralelismo. Aplicar as seguintes observações gerais:

Para um eixo de rotação, utilizar um suporte radial ao qual está preso um relógio comparador. Este deve estar fixo ao suporte com a haste posicionada paralelamente ao eixo de rotação. A medida que a árvore gira, o relógio comparador deve descrever uma circunferência, cujo plano é perpendicular ao eixo de rotação. Medir o paralelismo entre o plano a ser verificado e o plano cinemático, através da variação de leitura no relógio comparador. Esta variação é

expressa em relação ao diâmetro da circunferência descrita pelo apalpador (Fig. 42).

a) Se não for especificado o plano de medida, o relógio comparador é girado de  $360^\circ$  e a maior variação de leitura é tomada como medida da ortogonalidade em um comprimento de medida igual ao diâmetro da circunferência descrita pelo apalpador.

b) Se forem especificados os planos de medida, por exemplo: planos I e II, registrar, em cada um desses planos, a diferença das leituras em duas posições do relógio comparador, defasadas de  $180^\circ$ .

Para eliminar o efeito do deslocamento axial periódico da árvore (item 5.6.2.1.2), que poderia falsear os resultados, utilizar um dispositivo com dois braços iguais, que suportem dois relógios comparadores defasados de  $180^\circ$ , e tomar a média das leituras.

O ensaio pode ser realizado, também, com um único relógio comparador. Após a primeira verificação, girar o dispositivo de  $180^\circ$  em relação à árvore e repetir o teste.

Finalmente, quando necessário, a folga axial deve ser eliminada através de uma força axial conveniente (item 5.6.2.1.1).

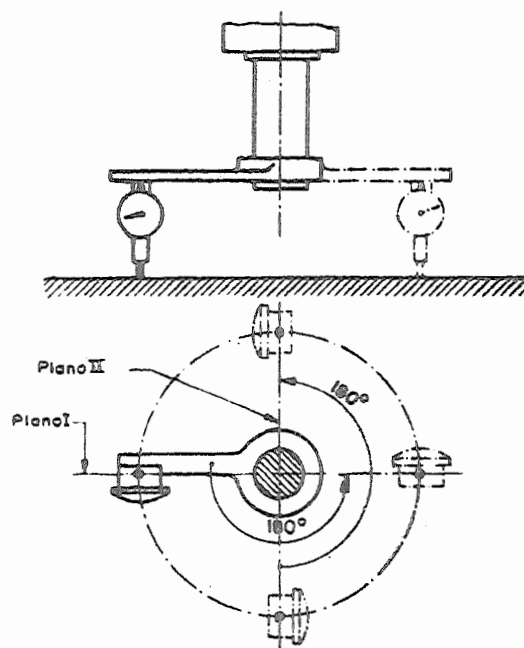


FIG. 42

**5.5.1.2.2 Dois planos ortogonais entre si** — Apoiar um esquadro em um dos planos (Fig. 43). Verificar o paralelismo da aba livre do esquadro, em relação ao segundo plano, de acordo com os métodos descritos nos itens 5.4.1.2.2 ou 5.4.1.2.4.

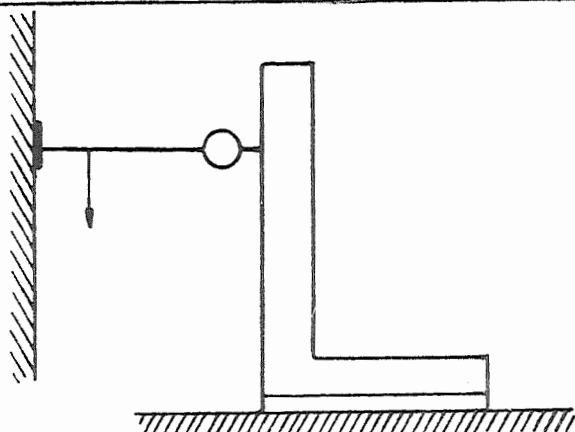


FIG. 43

### 5.5.1.2.3 Dois eixos ortogonais entre si

**5.5.1.2.3.1 Os dois eixos são fixos** — Apoiar no cilindro que representa um dos eixos (Fig. 44), um esquadro com uma base adequada. Verificar o paralelismo entre a aba livre do esquadro e o segundo eixo, conforme o método descrito no ítem 5.4.1.2.4.

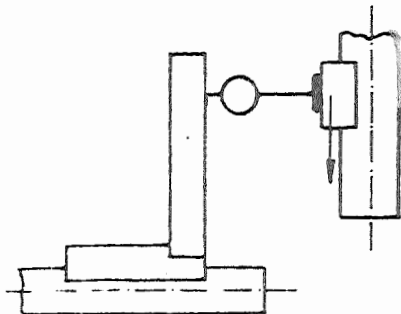


FIG. 44

**5.5.1.2.3.2 Um dos eixos é de rotação** — Prender um relógio comparador em um braço fixo ao mandril, que representa o eixo de rotação, e colocar em contato com dois pontos, A e B, no cilindro, que representa o outro eixo (Fig. 45). As variações de leituras são expressas em relação à distância AB.

Se o segundo eixo também é de rotação, este é posicionado no valor médio de sua imprecisão de giro, no plano de medida, conforme o método descrito no ítem 5.4.1.2.1.

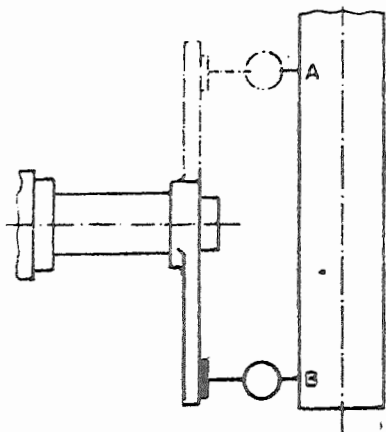


FIG. 45

### 5.5.1.2.4 Eixo e plano ortogonais entre si

**5.5.1.2.4.1 Eixo fixo** — Apoiar no cilindro que representa o eixo (Fig. 46), um esquadro com uma base adequada.

Verificar o paralelismo da aba livre do esquadro em relação ao plano, em duas direções perpendiculares, conforme o método descrito no ítem 5.4.1.2.2.

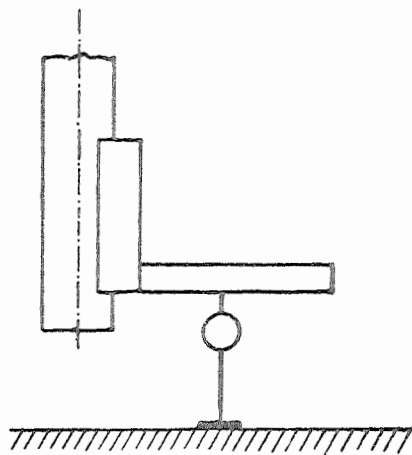


FIG. 46

**5.5.1.2.4.2 Eixo rotativo** — Prender um relógio em um braço fixo à árvore e realizar o ensaio, conforme descrito no ítem 5.5.1.2.1.

**5.5.1.2.5 Eixo ortogonal à intersecção de dois planos**

**5.5.1.2.5.1 Eixo fixo** — Apoiar no cilindro que representa o eixo (Fig. 47), um esquadro com base adequada. Verificar o paralelismo entre a aba livre do esquadro e a intersecção, pelo método descrito no ítem 5.4.1.2.6.

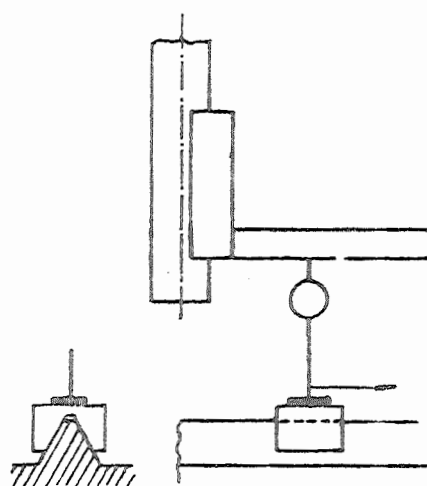


FIG. 47

**5.5.1.2.5.2 Eixo rotativo** — Prender um relógio comparador em um braço fixo à árvore, de modo que o apalpador toque o bloco apoiado

nas duas superfícies que se interceptam. Girar a árvore de 180° e deslocar o bloco de maneira que o apalpador fique em contato com o mesmo ponto do bloco (Fig. 48).

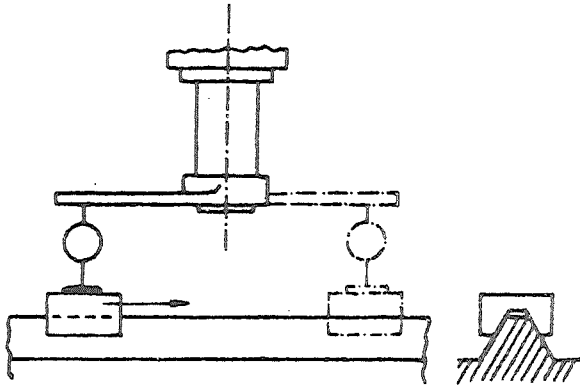


FIG. 48

**5.5.1.2.6 Ortogonalidade entre a intersecção de dois planos e um terceiro plano** — Prender um esquadro (Fig. 49), ou um relógio comparador (Fig. 50), a uma base adequada que permita seu apoio nos planos que se interceptam.

Verificar o paralelismo entre a aba livre do esquadro e o terceiro plano ou intersecção, de acordo com os métodos descritos nos ítems 5.4.1.2.2 ou 5.4.1.2.6. O ensaio é feito, sempre que possível, em dois planos perpendiculares (Figs. 50a e 50b).

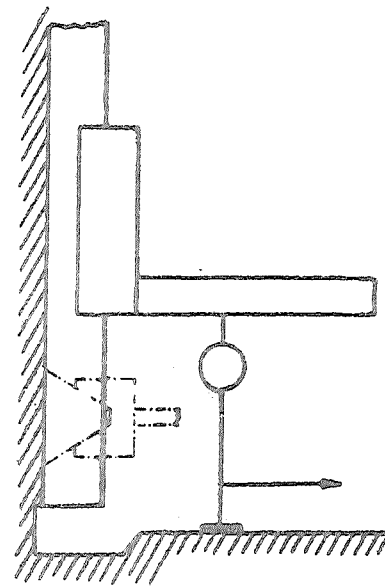


FIG. 49

**5.5.1.2.7 Ortogonalidade entre duas retas definidas cada qual pela intersecção de dois planos** — Apoiar um esquadro com uma base adequada sobre uma das intersecções. Verificar o paralelismo da aba livre do esquadro com a outra intersecção, conforme o método descrito no ítem 5.4.1.2.6.

Se a verificação direta da ortogonalidade referida nos ítems acima for difícil, devido à distância entre os elementos ou à interferência de componentes, verificar em relação a um plano auxiliar de referência, por exemplo, com o auxílio de um nível.

**5.5.1.3 Tolerância** — Os erros permissíveis,

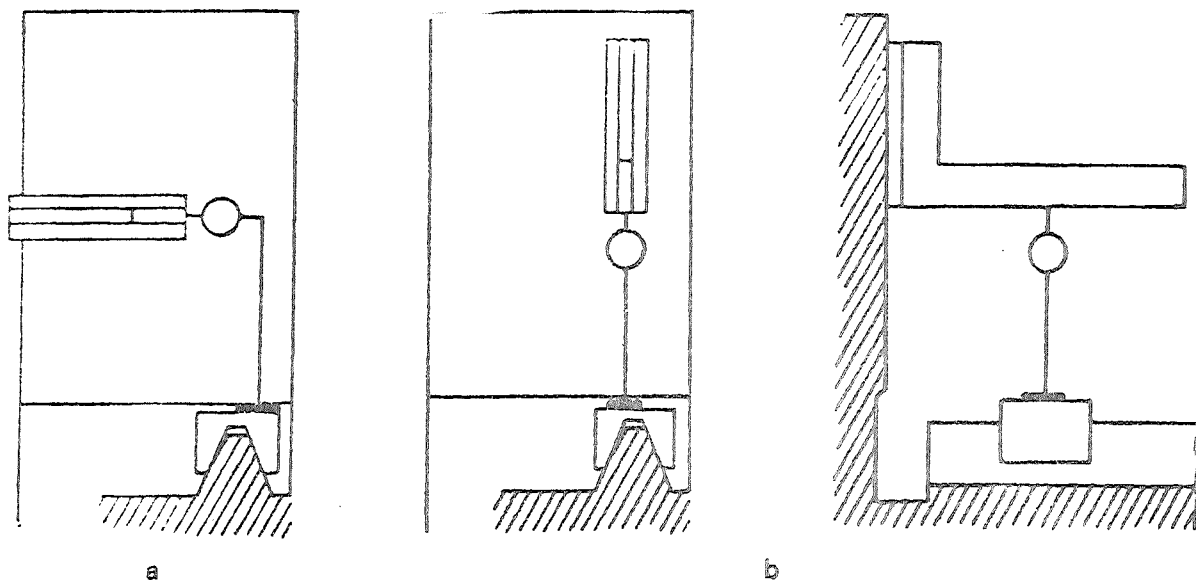


FIG. 50

sem direção preferencial, na ortogonalidade de retas ou planos são expressos:

Erros relativos a ângulos retos:  $\pm \dots \mu\text{m}$  ou mm, em um determinado comprimento.

Quando houver exigência no sentido do erro, este pode ser especificado em relação a um componente da máquina: extremidade livre da árvore inclinada somente na direção do braço de suporte.

### 5.5.2 Verificação de ortogonalidade de movimentos

**5.5.2.1 Definição** — Ortogonalidade de movimentos em máquinas-ferramenta, são posições sucessivas de trajetória de um ponto, de um componente móvel da máquina, em relação a: um plano (suporte ou guia), uma reta (eixo, ou intersecção de dois planos), ou a trajetória de um ponto em outra parte móvel.

#### 5.5.2.2 Métodos de medida

**5.5.2.2.1 Generalidades** — A verificação da ortogonalidade de movimento é uma verificação de paralelismo, pelo uso de um esquadro adequado às condições do ensaio (item 5.2.3.2).

A parte móvel deve ser acionada de maneira usual, a fim de revelar os efeitos de folga e erros das guias.

**5.5.2.2.2 Ortogonalidade da trajetória de um ponto com um plano** — Apoiar um esquadro no plano (Fig. 51). Verificar o paralelismo entre o movimento e a aba livre do esquadro, em duas direções perpendiculares, conforme descrito no item 5.4.2.2.2.

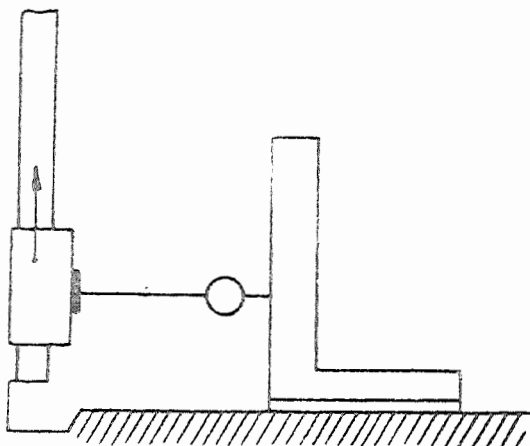


FIG. 51

**5.5.2.2.3 Ortogonalidade da trajetória de um ponto com um eixo** — Fixar no cilindro, que representa o eixo (Fig. 52), um esquadro com base adequada. Verificar o paralelismo do movi-

mento em relação à aba livre do esquadro, de acordo com o item 5.4.2.2.2.

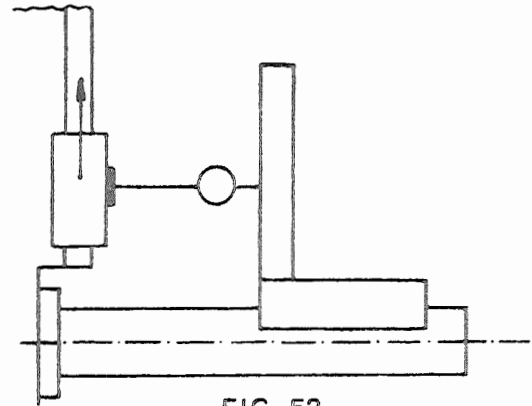


FIG. 52

Se o eixo é de rotação, colocar o mandril na posição média de sua imprecisão de giro, no plano de ensaio. No caso particular da árvore de um torno, onde pode ser fixada uma placa, montar nesta um disco plano retificado. A placa não deve ser usada pois, normalmente, não é suficientemente plana. Fazer uma segunda leitura sobre o disco, após girar a árvore de 180°. A média das leituras é o desvio no comprimento medido. Utilizar também o eixo, como indicado no item 5.5.1.2.4.2, para posicionar uma régua, em relação à qual seja verificado o paralelismo do movimento.

**5.5.2.2.4 Duas trajetórias perpendiculares entre si** — As duas trajetórias são comparadas por meio de um esquadro adequadamente montado sobre blocos padrão e régua. A Figura 53 exemplifica a montagem para esse ensaio.

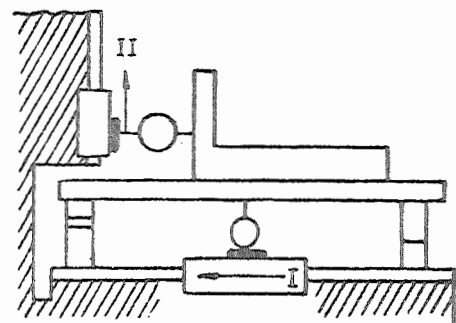


FIG. 53

Uma das abas do esquadro pode ser posicionada paralelamente à trajetória I, por meio de um relógio comparador e blocos padrão. Verificar a trajetória II, conforme o item 5.4.2.

A aba do esquadro também pode ser colocada com uma certa inclinação, maior que a tolerância, em relação à trajetória I, de modo a permitir que os relógios comparadores trabalhem em um único sentido. Assim, o efeito do erro de retorno do relógio pode ser eliminado. Neste

caso, o erro de perpendicularidade é a diferença entre as variações das leituras nos dois relógios comparadores, em um mesmo comprimento de medida.

Em casos particulares, considerar a deflexão dos componentes causada pelos pesos suportados.

Esta verificação também pode ser efetuada por meio de métodos ópticos (Fig. 54).

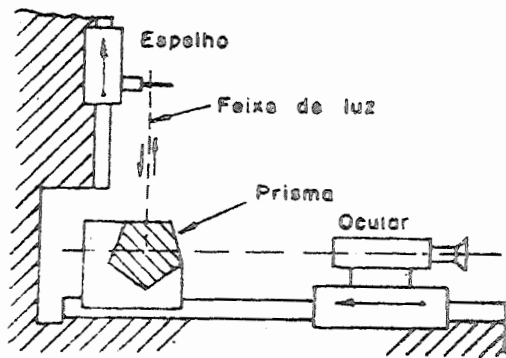


FIG. 54

**5.5.2.3 Tolerância** – Tolerância de perpendicularidade de um determinado movimento é a variação permissível em um determinado comprimento, por exemplo 300 mm, da menor distância entre a trajetória de um ponto do componente móvel da máquina e a aba livre do esquadro. Esta variação vem precedida pelo sinal + ou -.

Para determinação da tolerância ver o ítem 5.5.1.3.

**5.6 Rotação** – Esta verificação compreende: Imprecisão total de giro (ítem 5.6.1), Deslocamento axial periódico (ítem 5.6.2) e Bamboaleamento (ítem 5.6.3).

#### 5.6.1 Imprecisão total de giro

##### 5.6.1.1 Definições

**5.6.1.1.1 Erro de circularidade** – É o erro relativo à forma circular de um componente em um determinado plano perpendicular ao eixo.

Para um eixo, o valor do erro de circularidade é definido como sendo a diferença entre o diâmetro da circunferência circunscrita e o menor diâmetro mensurável do eixo.

Para um furo, o erro de circularidade é definido pela diferença entre o diâmetro de uma circunferência inscrita e o maior diâmetro mensurável do furo, ambos medidos em um plano, perpendicular ao eixo.

Com os métodos comuns de medida,

esta definição não pode, na prática, ser rigorosamente utilizada. Quando o erro de circularidade de um componente é determinado, o método de medida utilizado deve atender o melhor possível à definição.

Ovalização é um caso particular do erro de circularidade.

**5.6.1.1.2 Excentricidade** (Fig. 55) – É a distância entre dois eixos paralelos, um girando em torno do outro. Excentricidade não é erro, é uma dimensão sujeita a uma tolerância. Não deve ser confundida com o defeito chamado erro de concentricidade.

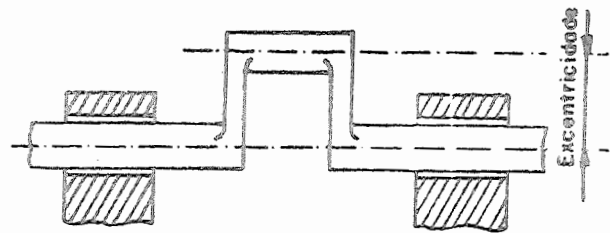


FIG. 55

**5.6.1.1.3 Erro de concentricidade de um eixo em um determinado ponto** – Em um componente cujo eixo geométrico não coincide exatamente com o eixo de rotação, o erro de concentricidade é a distância entre as interseções dos dois eixos, com um plano perpendicular ao eixo de rotação (Fig. 56).

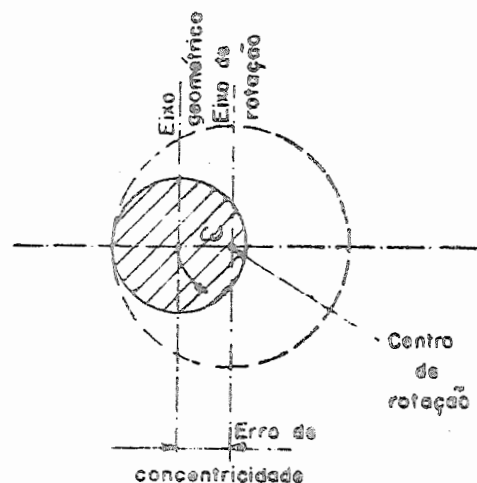


FIG. 56

**5.6.1.1.4 Imprecisão total de giro de um componente em uma seção** – Sem considerar o erro de circularidade, a imprecisão total de giro é o dobro do erro de concentricidade de um eixo, em uma determinada seção (Fig. 56).

Geralmente a medida da imprecisão total



de giro engloba:

erro devido a concentricidade do eixo,  
erro de circularidade do componente e  
erros dos mancais.

Nas verificações geométricas de máquinas-ferramenta, a concentricidade de um eixo é determinada pela medida da imprecisão total de giro de uma peça montada no eixo. Nesta Recomendação, a tolerância para a imprecisão total de giro corresponde à leitura total do indicador. Portanto, para obter-se o erro de concentricidade, as leituras dos instrumentos de medida não devem ser divididas por dois. Os métodos de medida indicados consideram esta observação.

Nos rolamentos, a gaiola e os elementos rolantes giram com velocidades diferentes, em relação ao eixo. A repetição do erro na rotação do eixo pode ocorrer somente depois de várias voltas. Assim, a imprecisão total de giro deve ser determinada com duas ou mais voltas do eixo.

Sob o ponto de vista metrológico, uma superfície de fixação cilíndrica ou cônica é coincidente com o eixo de rotação se, medindo ao longo de um certo comprimento, após a colocação de um mandril de ensaio nessa superfície de fixação, o erro de rotação em cada ponto de medida não exceder um valor especificado.

#### 5.6.1.2 Métodos de medida

**5.6.1.2.1 Precauções durante o ensaio** — Antes de efetuar o ensaio, a árvore deve ser posta em funcionamento por tempo que garanta a invariabilidade do filme de óleo, durante o ensaio. A temperatura deve ser a de equilíbrio nas condições normais de funcionamento da máquina.

**5.6.1.2.2 Superfícies externas** — Apoiar o apalpador de um relógio comparador sobre a superfície a ser ensaiada e anotar as indicações do relógio enquanto a árvore gira lentamente, pelo menos duas voltas (Fig. 57).

No caso de superfícies cônicas, o apalpador deve ser apoiado perpendicularmente à geratriz; se houver algum deslocamento axial da árvore durante a rotação, o diâmetro do círculo verificado pode variar. O valor da imprecisão total de giro assim obtido é maior que o valor real. Desse modo, apenas superfícies cônicas, com pequena conicidade, devem ser usadas para a determinação da imprecisão total de giro. Medir primeiro o deslocamento axial da árvore (item 5.6.2.1.2), considerando seu efeito nas medidas, de acordo com o ângulo do cone.

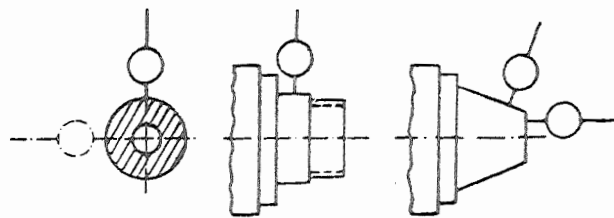


FIG. 57

**5.6.1.2.3 Superfícies internas** — Se o relógio comparador não puder ser usado diretamente na medida de furos cilíndricos ou cônicos, montar um mandril de ensaio nesses furos. A parte cilíndrica do mandril, projetada para fora, deve ser usada para a realização do ensaio. Se o ensaio for realizado apenas em uma seção do mandril, determinar somente a posição de um círculo de medida em relação ao eixo. Como o eixo do mandril pode ser coincidente com o eixo de rotação no plano de medida, a verificação deve ser feita em duas seções, A e B, separadas entre si de uma distância especificada (Fig. 58).

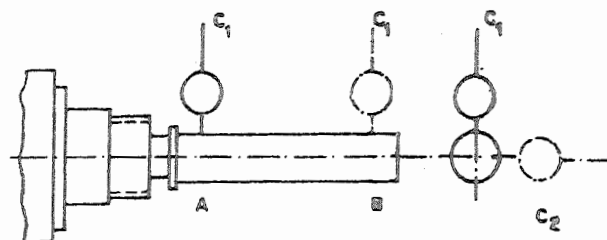


FIG. 58

Para eliminar qualquer falta de precisão, na colocação do mandril no furo, particularmente nos furos cônicos, esse ensaio deve ser repetido, pelos menos, quatro vezes, girando o mandril de 90°, em relação à árvore, em cada etapa. A média das leituras é o resultado do ensaio.

Em cada caso, a imprecisão total de giro deve ser medida no plano horizontal e no plano vertical passando pelo eixo, nas posições C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>, indicadas na Figura 58.

Observar que, nos métodos acima, o movimento do apalpador pode variar de sentido durante a verificação da imprecisão total de giro. Portanto, o instrumento de medida deve apresentar mínimo erro de retorno.

Utilizando mandril, a forma do furo não é verificada.

A verificação da imprecisão total de giro de uma árvore, pela usinagem e posterior medição de uma peça cilíndrica, determina os erros dos mancais da árvore. Esse ensaio tem importância nas máquinas que usinam superfícies cilíndricas (tornos, fresadoras com cabeçote de broquear e mandriladoras), nas quais a precisão da superfície usinada depende da precisão de giro do eixo de rotação da árvore e não de superfícies internas, ou externas de fixação na árvore, que podem ter qualquer forma geométrica. No caso de dispositivos de centragem de precisão, como pontas, pinças e outros, é recomendável a verificação da imprecisão total de giro, incluindo os cones internos ou externos das árvores.

Os métodos acima são aplicáveis, apenas, às árvores com mancais de rolamentos, esferas ou rolos, ou de escorregamento. Árvores automaticamente centralizadas durante a rotação (por exemplo: por pressão hidráulica), só podem ser ensaiadas girando na sua velocidade normal de funcionamento. Nestes casos, usar instrumentos de medida sem contato direto, por exemplo: transdutor capacitivo, transdutor eletromagnético ou outro instrumento adequado.

**5.6.1.3 Tolerância** — Tolerância na imprecisão total de giro é o desvio permissível das trajetórias dos pontos de uma seção de uma superfície de

revolução. Não vem precedido de sinal. Inclui erros de forma da superfície girante, movimento e falta de paralelismo do eixo desta superfície, em relação ao eixo de rotação (erros de posição), e movimento do eixo de rotação devido às superfícies de apoio, ou furos, não serem exatamente circulares (erros dos mancais). Para superfícies com dimensões reduzidas na direção axial (por ex.: nariz da árvore de uma retificadora), apenas um plano de ensaio é suficiente, entretanto, para superfícies maiores, o plano de referência deve ser especificado.

Desejando especificar a verificação da imprecisão total de giro, em apenas um plano, ou em um comprimento, estes devem ser definidos.

## 5.6.2 Deslocamento axial periódico

### 5.6.2.1 Definições

**5.6.2.1.1 Folga axial mínima** — É o menor valor da folga axial de uma peça rotativa em repouso, medida em uma série de posições angulares da peça, em torno do seu eixo (Fig. 59).

**5.6.2.1.2 Deslocamento axial periódico** — É a amplitude de movimento alternativo na direção do eixo de uma peça rotativa, quando girada, eliminando a influência da folga axial mínima pela aplicação de uma força axial em um determinado sentido (Fig. 59).

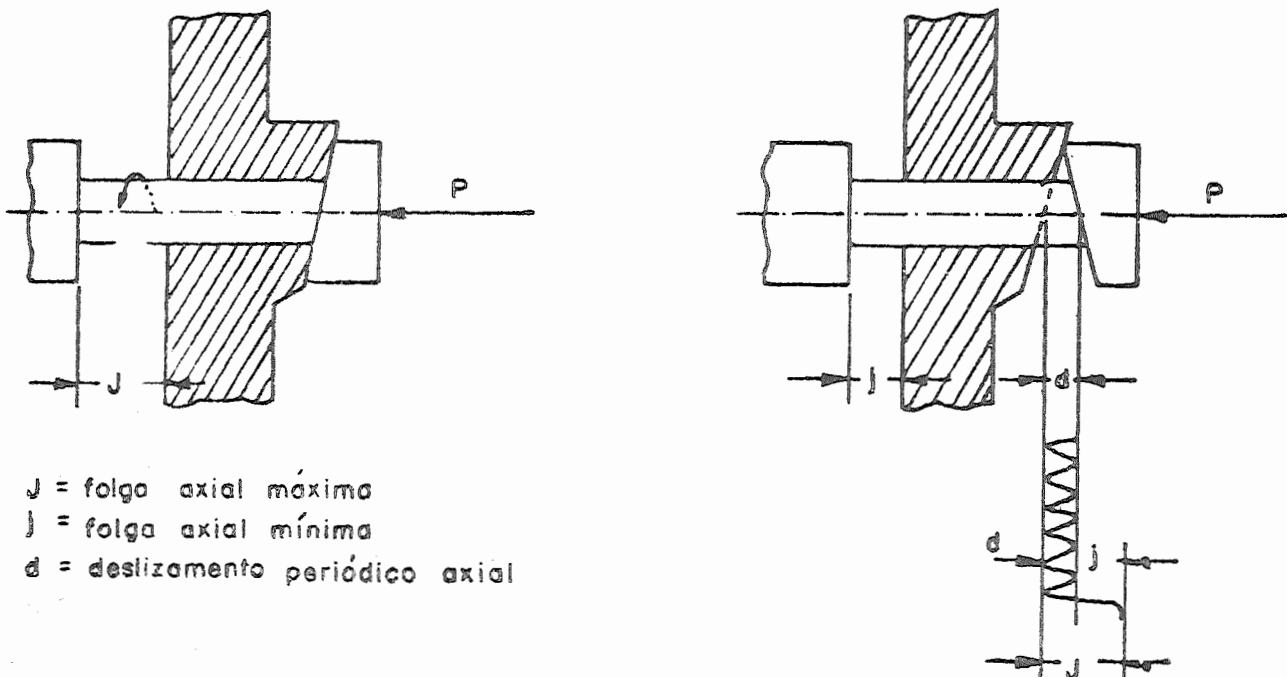


FIG. 59

Quando o deslocamento axial for mantido dentro da tolerância, a peça pode ser considerada fixa na direção axial.

### 5.6.2.2 Métodos de medida

**5.6.2.2.1 Generalidades** — Para eliminar o efeito da folga do mancal de escora, aplicar um ligeiro esforço na árvore, na direção de medida. O apalpador do relógio comparador deve ser apoiado no centro da face frontal e alinhado com o eixo de rotação. As leituras são feitas enquanto a árvore é girada contínua e lentamente, e o esforço é mantido em direção e sentido.

Se a árvore for oca, fixar um mandril curto com uma face plana perpendicular ao eixo e apoiar nesta face um apalpador esférico (Fig. 60). Como alternativa, utilizar um mandril com uma face esférica e um apalpador plano (Fig. 61). Se a árvore tiver furo de centro, colocar uma esfera e apoiar sobre esta um apalpador plano (Fig. 62).

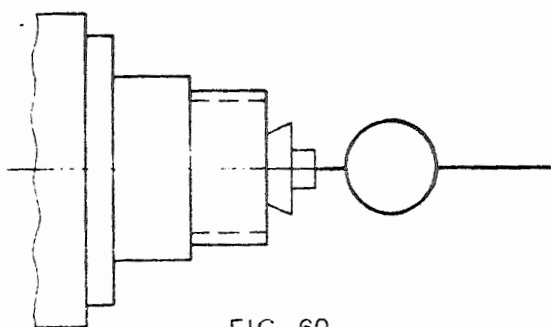


FIG. 60

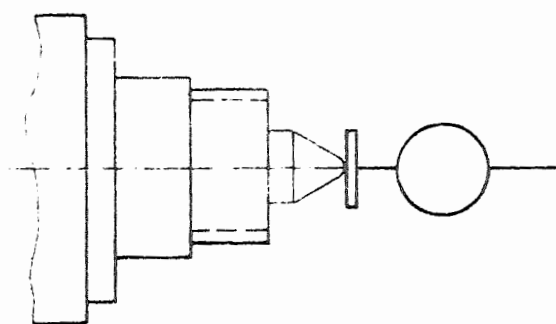


FIG. 61

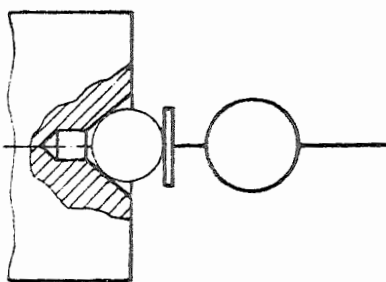


FIG. 62

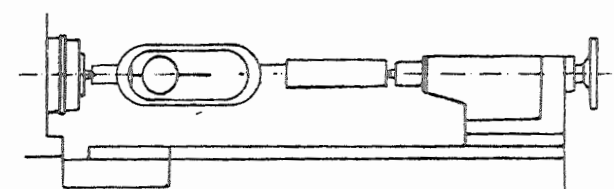


FIG. 63

Este último método é usado para verificação do deslocamento axial periódico da árvore de tornos e de fresadoras. O apalpador é apoiado na face da placa ou na face frontal do nariz da árvore (Fig. 64).

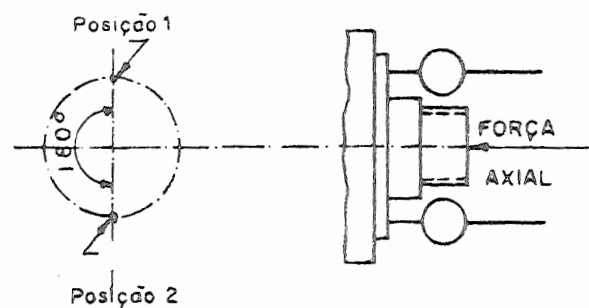


FIG. 64

Se o mancal de escora for de rolamento, realizar o ensaio, pelo menos, em duas voltas (item 5.6.1.1.4).

Uma vez que o movimento do apalpador pode mudar de sentido durante o ensaio, utilizar instrumento de medida com mínimo erro de retorno.

**5.6.2.3 Tolerância** — O deslocamento axial periódico máximo permissível define o limite do deslocamento axial periódico da árvore, durante a rotação lenta, sob a ação de um ligeiro esforço axial. O sentido do esforço deve ser indicado. Pode ser necessário realizar duas verificações, inicialmente em um sentido e posteriormente, no sentido oposto; neste caso podem ser fornecidas tolerâncias diferentes para cada sentido.

### 5.6.3 Bamboleamento

#### 5.6.3.1 Definições

**5.6.3.1.1 Bamboleamento de uma superfície plana girando em torno de um eixo**

a) Bamboleamento da superfície — Bamboleamento é o erro de ortogonalidade de uma superfície plana que, girando em torno de um eixo, não permanece no plano perpendicular ao eixo. O bamboleamento é determinado pela distância  $h$ , que separa os dois planos perpendiculares ao eixo, entre os quais os pontos da superfície se movem durante a rotação.

b) Bamboleamento de superfície a uma distância  $d$  do eixo de rotação — É a distância  $h$  que separa dois planos perpendiculares ao eixo de rotação entre os quais se localizam todas as trajetórias de revolução dos pontos da superfície, até o diâmetro  $2d$ .

Bamboleamento é a resultante de vários defeitos da superfície e do eixo de rotação ( $h_1, h_2, h_3$ ), conforme indicado na Figura 65.

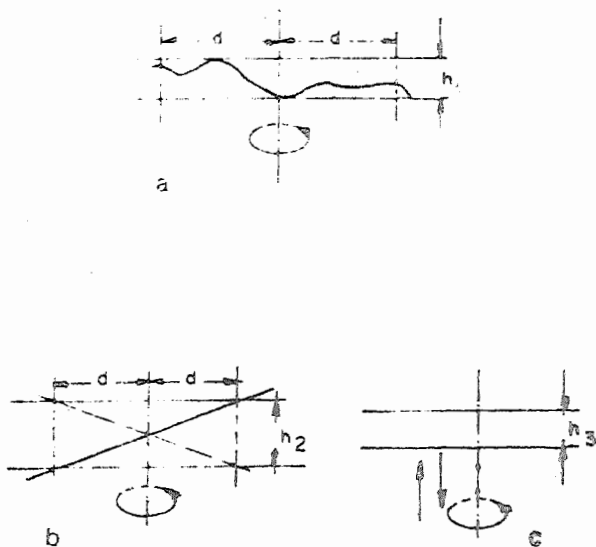


FIG. 65

a — Superfície não plana; b) — Superfície e eixo de rotação não perpendiculares; c — Deslocamento axial periódico do eixo.

Quando o plano considerado tiver um eixo geométrico (Fig. 66, parte A), não coincidente com o eixo de rotação, o erro de concentricidade provoca bamboleamento. Na prática, a imprecisão total de giro não tem grande efeito sobre o bamboleamento. Quando a imprecisão total de giro é constante, em várias seções do eixo (excentricidade), não há bamboleamento.

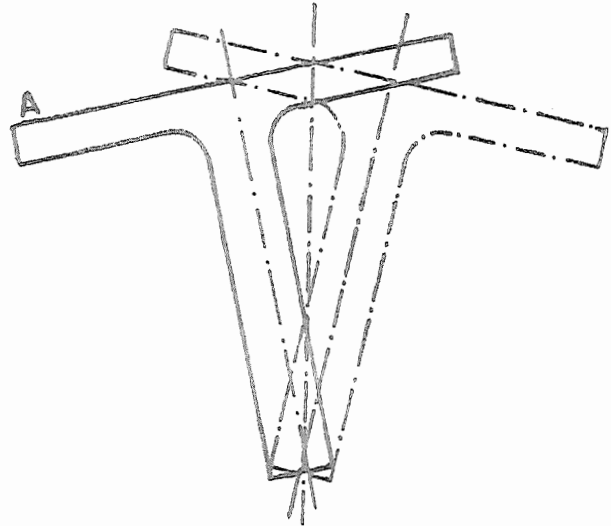


FIG. 66

**5.6.3.2 Método de medida** — A verificação de bamboleamento é feita em placas rotativas. O objetivo é verificar se todos os pontos de uma mesma circunferência, na face frontal da placa, estão no mesmo plano perpendicular ao eixo de rotação, e se a posição axial desse plano não varia durante a rotação da árvore. O bamboleamento é tanto mais acentuado quanto maior for a distância de medida ao eixo de rotação, devendo o ensaio ser efetuado na circunferência correspondente à maior distância ao eixo de rotação.

O relógio comparador deve ser posicionado a uma distância  $A$  do centro, com o apalpador perpendicular à face da placa (Fig. 67), e colocado sucessivamente em uma série de pontos espaçados ao longo da circunferência de raio  $A$ .

Os desvios, entre o valor máximo e mínimo, lidos em cada ponto, devem ser anotados; o maior desvio é o de bamboleamento.

Para eliminar o efeito da folga do mancal de escora a árvore deve ser girada contínua e lentamente, submetida a um ligeiro esforço axial; as placas horizontais, devido ao seu peso próprio, dispensam essa carga axial (Item 5.6.2.2.2).

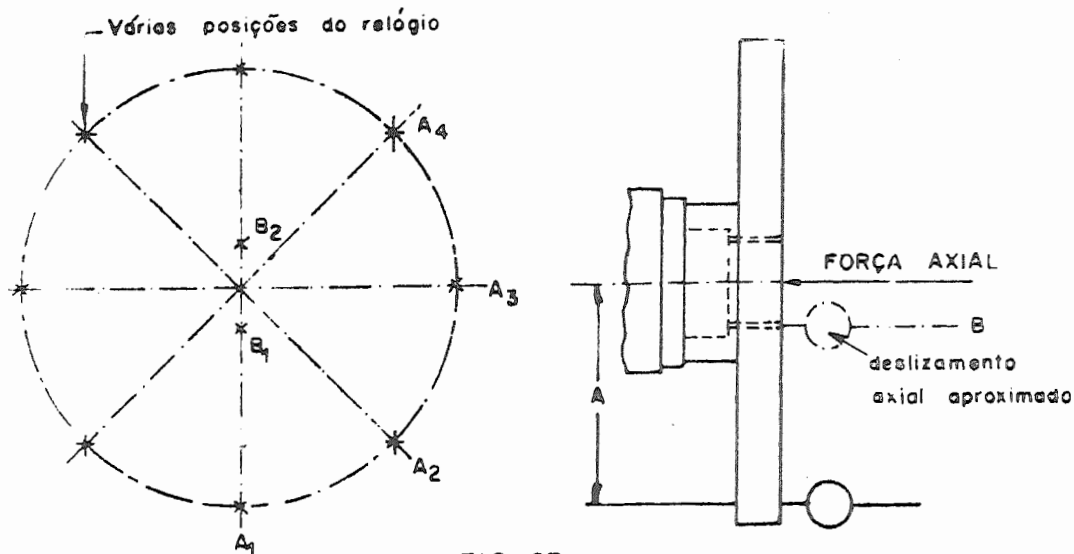


FIG. 67

O sentido do esforço aplicado na árvore, durante o ensaio, deve ser especificado: "esforço aplicado contra o nariz da árvore".

Desejando analisar as causas do bamboamento, medir, separadamente, os defeitos da superfície e do eixo. O deslocamento axial do eixo deve ser necessariamente medido. Se a placa for usinada depois de montada na árvore, o relógio comparador pode não indicar desvios quando colocado na posição de ferramenta. Colocando o apalpador a  $180^\circ$  dessa posição particular, o bamboamento  $h$ , obtido, é o dobro do deslocamento axial periódico.

**5.6.3.3 Tolerância** - A tolerância, que é medida em relação a um plano perpendicular ao eixo de rotação, representa o máximo desvio permissível, em qualquer ponto, das trajetórias de todos os pontos de uma circunferência da superfície a ser verificada. Inclui erros de forma da face, ângulo da face em relação ao eixo de rotação, concentricidade e deslocamento axial periódico da árvore. No entanto, esta tolerância não inclui a folga axial mínima do componente ensaiado (Figs. 59 e 65).

## 6. VERIFICAÇÕES ESPECIAIS

### 6.1 Divisão linear e angular

**6.1.1 Definições dos erros** - Este item trata das definições dos erros de divisão de escalas graduadas, engrenagens, placas divisoras, passo de parafuso de movimento e outros.

De um modo geral, são reconhecidos os seguintes erros: erro individual de divisão, erro sucessivo de divisão, erro de divisão em um determinado intervalo, erro acumulado e erro total de divisão.

**6.1.1.1 Erro individual de divisão** - É a diferença algébrica entre o valor real e o valor nominal da divisão.

Exemplo:  $(ab - a'b')$ , na segunda divisão da Figura 68. Uma divisão é a distância entre duas linhas consecutivas; várias divisões formam um intervalo.

**6.1.1.2 Erro sucessivo de divisão** - É o desvio real entre duas divisões sucessivas; é a igual diferença algébrica dos erros individuais das duas divisões.

Exemplo:  $ab - bc = (ab - a'b') - (bc - b'c')$ , na Figura 68, para a segunda divisão em relação à terceira.

**6.1.1.3 Erro de divisão em um intervalo** - É a soma dos valores absolutos do maior erro individual positivo com o maior erro individual negativo no intervalo.

Exemplo: Amplitude MN no intervalo 0-6, da Figura 69.

Se todos os erros têm o mesmo sinal no intervalo especificado, o erro de divisão deste intervalo é igual ao maior erro individual, em valor absoluto.

**6.1.1.4 Erro acumulado** - É a diferença entre a soma das  $K$  primeiras divisões e o valor nominal dessa soma. Esse valor pode ser determinado calculando a soma algébrica dos erros individuais de cada divisão, ou comparando o valor lido no instrumento de medida, com o valor teórico (Fig. 68).

**6.1.1.5 Erro total de divisão** - É a soma, em valores absolutos, do maior erro acumulado positivo com o maior erro acumulado negativo do intervalo considerado. Este intervalo pode ser a escala toda:  $360^\circ$ ; amplitude RS, da Figura 71.

**6.1.1.6 Representação gráfica dos erros** — Podem ser construídos diagramas dos erros representados na Figura 68, usando escalas convenientes:

a) Se o diagrama tem como abcissas as divisões e como ordenadas os erros individuais, a máxima amplitude MN representa o erro local de divisão no intervalo 0 - 6 (Fig. 69). Para a escala toda esse erro é representado por PH.

b) Se o diagrama tem como abcissas as divisões e como ordenadas os erros sucessivos de divisão, permite encontrar as posições do intervalo nas quais ocorrem os maiores erros (Fig. 70).

c) Se o diagrama apresenta como abcissas as divisões e como ordenadas as diferenças positivas ou negativas da posição real de cada divisão, em relação a sua posição teórica, a máxima amplitude RS, representa o erro total de divisão (Fig. 71).

Notar que a Figura 69 pode ser construída a partir da Figura 71: ordenada da divisão K, da Figura 69, é igual à diferença entre as ordenadas k e k - 1, da Figura 71\*.

O gráfico da Figura 70 pode ser construído a partir da Figura 69, colocando como ordenada do ponto k - (k + 1), na Figura 70 e a diferença algébrica entre as ordenadas das divisões k e k + 1, da Figura 69.

**6.1.2 Métodos de medida** — Uma vez que a verificação de erros de divisão usualmente requerem dispositivos e técnicas especiais, consultar MF-A5-00.08.

**6.1.3 Tolerância** — Geralmente não é necessário fixar tolerâncias para cada um dos cinco erros definidos. Para divisões lineares, por exemplo, a tolerância é sempre indicada para o erro acumulado em um determinado intervalo: 300 mm; para divisões circulares, são indicados erros individual e total.

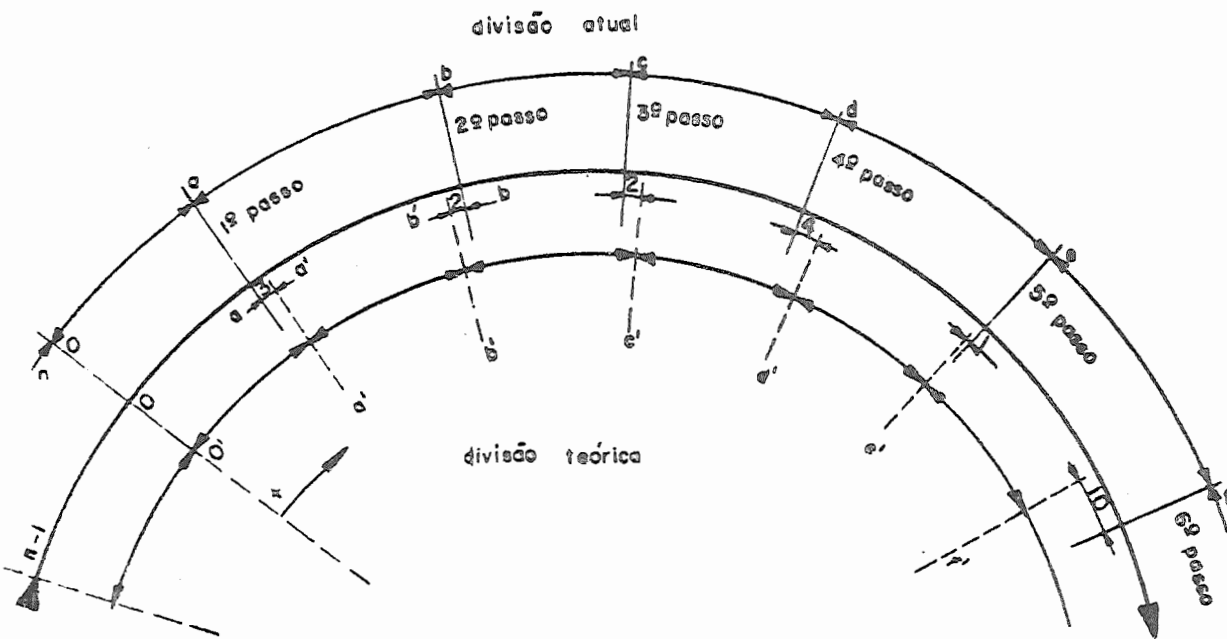


FIG. 68

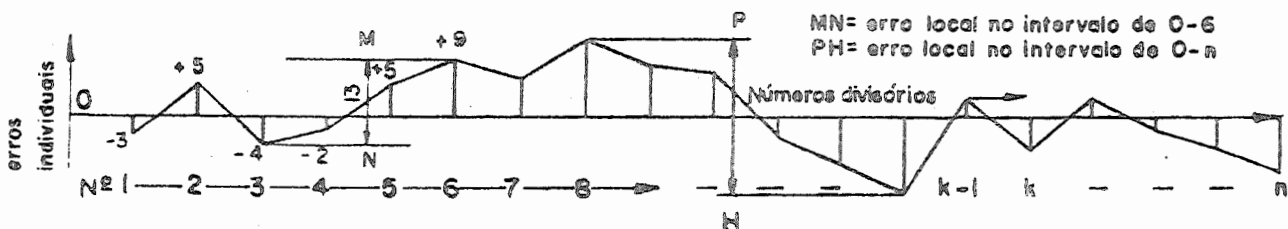


FIG. 69

(\*) O erro individual  $ab - a'b'$  pode ser colocado na forma  $(aa' + a'b) - (a'b + bb')$ , ou  $(bb' - a'a)$ , cuja expressão representa a diferença real entre cada par de linhas de uma divisão (Fig. 68).

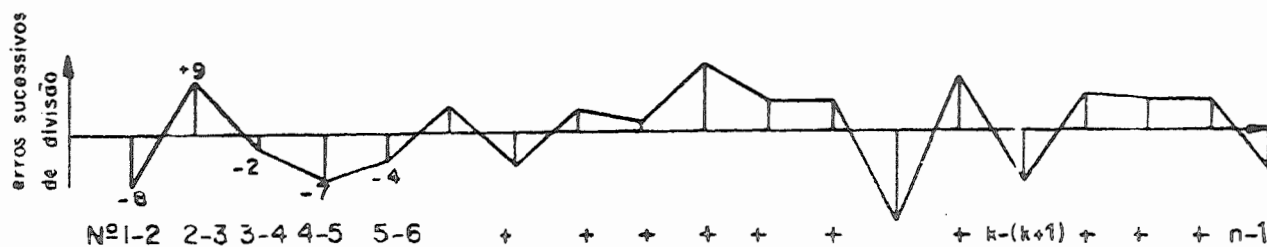


FIG. 70

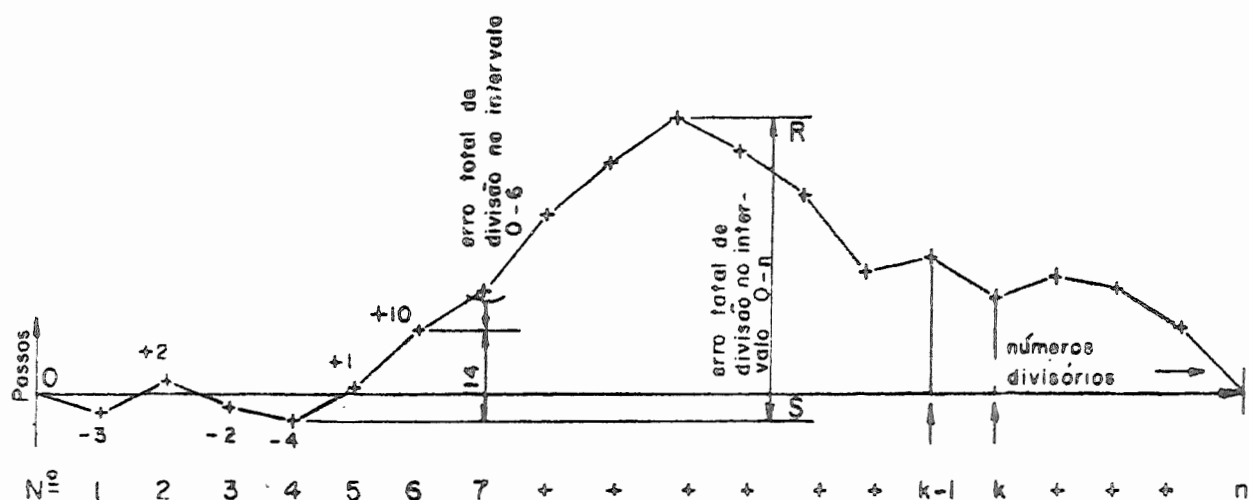


FIG. 71

Observar que durante a verificação de uma máquina-ferramenta os erros de divisão normalmente incluem erros inerentes a todo sistema. Os valores individuais dos erros parciais (erros de divisão propriamente ditos, falta de centragem da escala em relação ao eixo de rotação, folga nos componentes e outros), constituem juntos o erro total. Os erros parciais são de pouco interesse para o usuário da máquina.

Observar que a precisão de um mecanismo divisor está sujeita, além da precisão intrínseca da placa divisora, ao erro de centragem de sua montagem na árvore da máquina.

**6.2 Determinação dos desvios de deslocamento de componentes com parafuso de movimento** — Para verificar os desvios é necessário examinar, em seu aspecto geométrico, todos os elementos que possam tomar parte nos desvios e, em particular, o parafuso de movimento. A verificação do passo do parafuso necessita de equipamento especial. A precisão do passo do parafuso de movimento é apenas um dos numerosos fatores que afetam a precisão do deslocamento. Folgas, em certos elementos, e deflexões podem ser importantes. É possível estabelecer tolerâncias parciais, para cada um dos fato-

res que afetam o movimento, de modo que a tolerância total corresponda à precisão esperada da máquina.

Na verificação de máquinas-ferramenta, é necessário determinar somente o deslocamento linear do componente, através de verificações geométricas ou ensaios práticos.

Na verificação geométrica, um relógio comparador é montado no componente móvel, o parafuso de movimento é girado e o correspondente deslocamento do componente é medido por meio de blocos padrão. O resultado desta medida é confrontado com o valor teórico.

No ensaio prático, uma peça é usinada e posteriormente medida; no caso particular do parafuso de movimento de um torno, por exemplo, um ensaio prático pode ser realizado abrindo uma rosca em uma peça, em qualquer ponto ao longo do barramento da máquina, com um comprimento de 300 mm. O passo da rosca é verificado com auxílio de uma máquina de medida.

### 6.3 Folga anular

**6.3.1 Definição** — A folga anular de um componente rotativo é o ângulo de deslocamento que pode existir com o componente travado.

**6.3.2 Método de medida** — Verificação das torres-revólver de tornos. Este ensaio pode ser realizado fixando na torre uma barra com comprimento suficiente para efetuar a medida, a uma distância conhecida. Montar um relógio comparador de modo que o apalpador toque a barra na distância fixada. Aplicar um conjugado na torre, em um sentido e depois no sentido oposto, anotando as leituras do relógio comparador. O valor do conjugado deve ser tal que não provoque deformação em componentes da torre.

**6.3.3 Tolerância** — A tolerância é a tangente do ângulo de deslocamento.

**6.4 Repetibilidade de dispositivos com indexação angular (torres-revólver)**

**6.4.1 Definição** — Repetibilidade de indexação angular é o desvio angular entre a direção de um raio fixo do componente rotativo e a direção desse mesmo raio, após a rotação do componente e retorno à sua posição original.

**6.4.2 Métodos de medida** — A verificação pode ser feita de modo análogo à verificação de folga angular, com uma barra e um relógio comparador. Para uma determinada posição de indexação, o componente móvel deve ser girado de uma volta completa. A diferença entre as leituras, após sucessivos travamentos, representa o erro de repetibilidade dessa posição.

Repetir as medidas, para cada posição de indexação.

Quando a máquina não permitir uma volta completa do componente móvel, este deve ser girado no maior ângulo possível, em um sentido oposto ao do movimento normal. Todos os movimentos devem ser feitos com a mesma velocidade e os travamentos com força constante.

**6.4.3 Tolerância** — A tolerância de repetibilidade é expressa pela tangente do ângulo e inclui a tolerância da folga angular (a tolerância de repetibilidade não pode ser fixada independentemente das tolerâncias de folga angular).

**6.5 Intersecção de eixos**

**6.5.1 Definição** — A intersecção de dois eixos não paralelos ocorre quando a menor distância entre eles for inferior a uma determinada tolerância.

**6.5.2 Método de medida** — O ponto de intersecção de dois eixos não paralelos pode ser determinado por meio de medidas entre cilindros que representam esses eixos. O método é o mesmo usado na verificação de equidistância de

dois eixos em relação a um plano auxiliar (item 5.4.3.2.1). Simplificar essa verificação usando barras adequadamente usinadas (com uma face plana em um plano paralelo ao seu eixo). Medir entre as faces planas, para a determinação do erro de intersecção (Fig. 72).

**6.5.3 Tolerância** — A distância entre os eixos, desde que não seja importante o fato do eixo 1 passar na frente ou atrás do eixo 2 é: Distância do eixo 1 ao eixo 2:  $\pm \dots \dots \dots \mu\text{m}$  ou  $\text{mm}$ .

Quando as posições relativas influírem nas condições de operação, especificar: Somente quando o eixo 1 estiver acima do eixo 2:  $\dots \mu\text{m}$  ou  $\text{mm}$ .

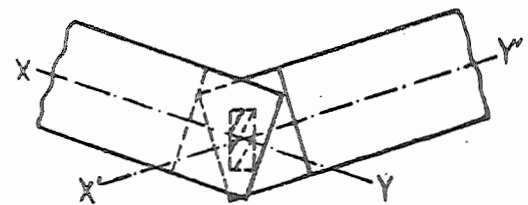
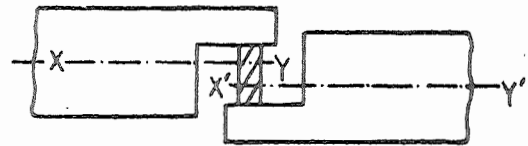


FIG. 72



MIC 21	FRESADORAS DE COLUNA E CONSOLO com árvore horizontal ou vertical Precisão e Ensaio	IPT MF-A5-07.20
-----------	--	--------------------

### Relação da Matéria

1. OBJETIVO
2. PRECISÃO GEOMÉTRICA REQUERIDA
3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ENSAIO
4. FOLHAS DE ENSAIOS
5. FOLHAS DE RESULTADOS – MODELO

#### 1. OBJETIVO

Esta Recomendação especifica a precisão geométrica exigida para fresadoras de coluna e consolo, com árvore horizontal ou vertical, estabelecendo os desvios permissíveis na precisão da construção da máquina. Para a verificação dessa precisão, descreve os métodos de ensaio.

Esta Recomendação é aplicável a máquinas de precisão normal, de uso geral. Não inclui os ensaios especiais de funcionamento da máquina (capacidade de corte, vibrações, ruído, avanço irregular \*), nem a verificação dos parâmetros técnicos (velocidades, avanços, amplitude dos movimentos e outros).

#### 2. PRECISÃO GEOMÉTRICA REQUERIDA

As máquinas devem estar de acordo com a precisão especificada na coluna de desvios admissíveis, desta Recomendação.

Para a verificação dessas medidas, os ensaios devem ser executados de acordo com os detalhes descritos nas Folhas de Ensaio e os requisitos especificados no item 3.

#### 3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ENSAIO

3.1 Os ensaios devem ser conduzidos segundo a Recomendação MF-A5-00.00, particularmente quanto à correta instalação da máquina, ao aquecimento da árvore e de outras partes móveis. A descrição dos métodos de medida e as observações quanto à precisão dos equipamentos de ensaio também devem ser consideradas.

3.2 Os ensaios podem ser feitos na ordem considerada mais prática, para facilitar a montagem dos instrumentos. A seqüência, na qual essas verificações estão ordenadas nesta Recomendação, está relacionada com a seqüência de montagem da máquina.

3.3 Os ensaios práticos devem ser feitos com usinagem de acabamento (profundidade de corte de 0,1 mm e avanço de 0,1 mm por rotação). A peça deve ser previamente preparada para evitar erros adicionais nos resultados das medidas e garantir um posicionamento adequado e uma perfeita

(\*) Movimento irregular, devido à imprecisão da cadeia cinemática, ou devido à sua elasticidade associada à diferença entre os atritos estático e dinâmico das guias (stick-slip).

fixação.

3.4 O valor mínimo para os desvios admissíveis, nas fresadoras de precisão normal, é 0,01 mm. Não deve ser exigida tolerância menor que esse valor, nos ensaios realizados em intervalos de medida diferentes do especificado.

3.5 Para a apresentação dos resultados das medidas, usar as Folhas de Resultados desta Recomendação.

3.6 Todas as medidas, indicadas nesta Recomendação, são em milímetros.

#### 4. FOLHAS DE ENSAIOS

4.1 Os ensaios devem ser executados de acordo com as instruções das folhas anexas.

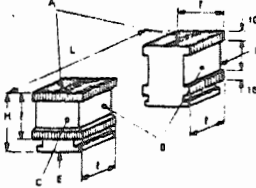
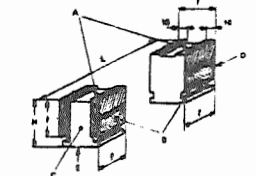
4.2 Os ensaios 9 e 11 não são aplicados à fresadoras universais. No ensaio 17, aplicar somente as verificações mais significativas.

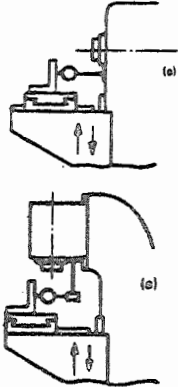
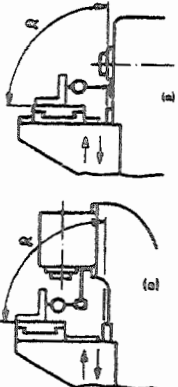
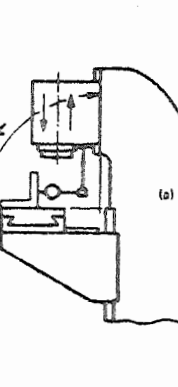
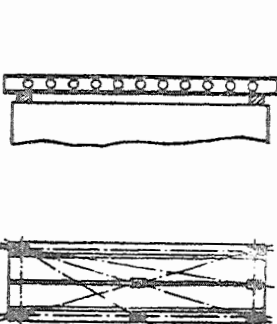
#### 5. FOLHAS DE RESULTADOS – MODELO

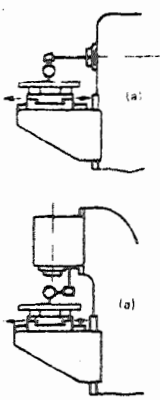
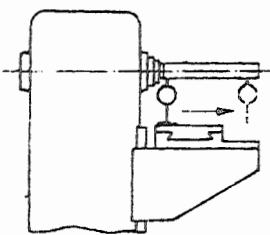
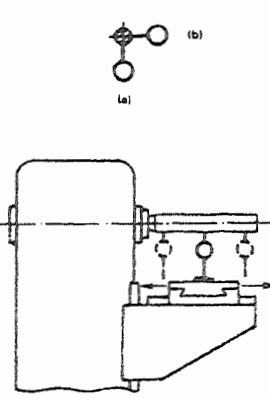
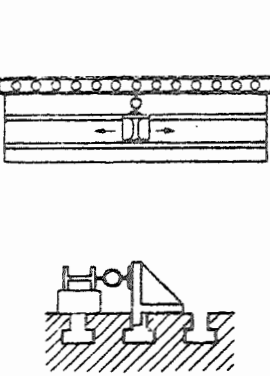
5.1 Os modelos anexos servem para a apresentação dos resultados dos ensaios.

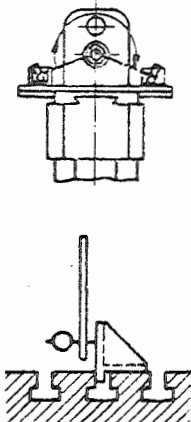
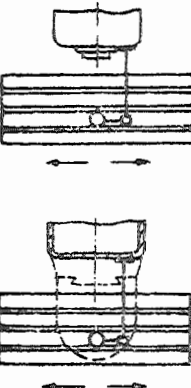
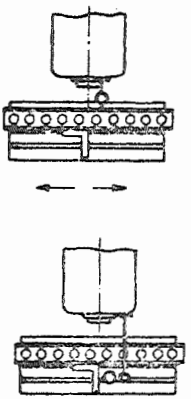
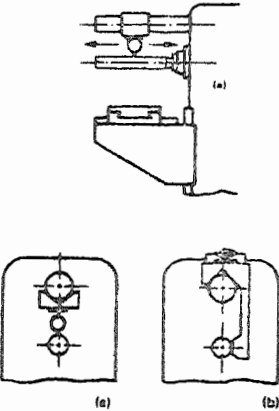
5.2 Nas Folhas de Resultados devem constar o nome do fabricante, modelo da máquina, número da máquina, data do ensaio, nome do laboratório responsável e o visto de inspeção.

Nota — A presente Recomendação baseia-se na BS 4656: Part 3: 1971; DIN 8615-1939 e 8616-1957; JIS B 6203-1956 e 6204-1956 e Schlesinger — Testing machine tools. Machinery Publ. Co. Ltd., 1966.

Nº	Esquemas	Ensaio Práticas	Condições de Usinagem	Verificações	Desvios Admissíveis (medidas em milímetros)	Aparelhos de Medida	Observações e Referências à Recomendação MF-A5-00.00
17	 <p>1. Para curso longitudinal <math>\leq 400</math>, usinar uma só peça ao longo de todo o curso da mesa</p> <p>2. Para curso longitudinal <math>&gt; 400</math>, usinar duas peças de comprimento <math>l</math>; uma em cada extremidade do curso da mesa  <math>l = 100</math> para <math>L \leq 500</math>  <math>l = 150</math> para <math>500 &gt; L \leq 1000</math>  <math>l = 200</math> para <math>L &gt; 1000</math></p> <p>3. As peças devem ser de ferro fundido cinzento, dureza 100 - 200 Brinell</p>	<p>1. Fresas Verticais Usinar a superfície "A", em dois cortes, com uma superposição de 5 e 10 Movimento longitudinal automático Usinar as faixas, nas superfícies "B", "C" e "D", com movimentos longitudinal e transversal automáticos</p>	<p>Fresa de topo, com corte lateral e diâmetro <math>&gt; D/2</math> Velocidade de corte, profundidade e avanço, são fixadas pelo fabricante</p>	<p>a) A superfície "A", de cada bloco, deve ser plana b) A altura "H", de cada bloco, deve ser constante c) As faixas nas superfícies "B", "C" e "D", devem ser perpendiculares entre si e cada uma perpendicular à superfície "A"</p>	<p>0,02 0,03 0,02/100</p>	<p>Réguas Blocos padrão Micrômetro Esquadro</p>	<p>3.1, 3.2.2, 4.1 e 4.2 Verificar, antes do ensaio, se a superfície "E" está plana</p> <p>Nota: 1. O fabricante pode, com o assentimento do usuário, modificar a forma da peça</p> <p>2. A fresa deve ser afilada montada em seu mandril, com os seguintes tolerâncias: a) imprecisão total de giro <math>\leq 0,02</math> b) bamboamento <math>\leq 0,03</math></p> <p>3. As partes móveis, não operantes, devem estar travadas durante a usinagem</p>
	 <p>2. Fresas Horizontais Usinar a superfície "B", em dois cortes, com uma superposição de 5 e 10 Movimento longitudinal automático Usinar as faixas, nas superfícies "A", "C" e "D", com movimentos longitudinal e vertical automáticos</p>	<p>Fresa de topo, com corte lateral e diâmetro <math>&gt; D/2</math> Velocidade de corte, profundidade e avanço, são fixadas pelo fabricante</p>	<p>a) A superfície "B", de cada bloco, deve ser plana b) A altura "H", de cada bloco, deve ser constante c) As faixas nas superfícies "A", "C" e "D", devem ser perpendiculares entre si e cada uma perpendicular à superfície "B"</p>	<p>0,02 0,03 0,02/100</p>	<p>Réguas Blocos padrão Micrômetro Esquadro</p>	<p>a) imprecisão total de giro <math>\leq 0,02</math> b) bamboamento <math>\leq 0,03</math></p> <p>3. As partes móveis, não operantes, devem estar travadas durante a usinagem</p>	

MIC 21	FRESADORAS DE COLUNA E CONSOLO com árvore horizontal ou vertical FOLHAS DE ENSAIOS			IPT MF-A5-07.20	
Nº	ESQUEMAS	ENSAIOS	DESVIOS ADMISSÍVEIS (medidas em milímetros)	APARELHOS DE MEDIDA	OBSERVAÇÕES E REFERÊNCIAS À RECOMENDAÇÃO MF-A5-00.00
1		<p>Movimento vertical realfi- nao da consola:</p> <p>a) no plano vertical de si- metria da máquina</p> <p>b) no plano vertical per- pendicular ao plano de si- metria</p>	<p>0,025 para qualquer com- primento de 300</p> <p>0,025 para qualquer com- primento de 300</p>	<p>Relógio comparador</p> <p>Esquadro</p>	<p>2.1, 3.1.1 e 5.2.3.1</p> <p>Em lugar da régua, usar a aba vertical de um esquadro</p> <p>Mesa na posição central; sola travada; consola destravada</p> <p>Fixar o relógio comparador na árvore, se esta puder ser travada; caso contrário, prender o relógio em uma parte fixa da máquina</p> <p>A retitude do movimento é determinada em relação a uma reta paralela à direcção geral do movimento</p>
2		<p>Ortogonalidade da super- fície da mesa em relação às guias da coluna para a consola (em três pos- ições: no meio e próximas às extremidades do curso):</p> <p>a) no plano vertical de si- metria da máquina</p> <p>b) no plano vertical per- pendicular ao plano de si- metria</p>	<p>0,025/300 <math>\alpha \leq 90^\circ</math></p> <p>0,025/300</p>	<p>Relógio comparador</p> <p>Esquadro</p>	<p>5.5.2.2.2</p> <p>Mesa na posição central; sola e consola travados durante as leituras</p>
3		<p>Ortogonalidade da super- fície da mesa em relação às guias da coluna para o cabeçote (em três pos- ições: no meio e próximas às extremidades do curso):</p> <p>a) no plano vertical de si- metria da máquina</p> <p>b) no plano vertical per- pendicular ao plano de si- metria</p>	<p>0,025/300 <math>\alpha \leq 90^\circ</math></p> <p>0,025/300</p>	<p>Relógio comparador</p> <p>Esquadro</p>	<p>5.5.2.2.2</p> <p>Verificar com a consola, sola e mesa travados. Cabeçote travado durante as leituras</p> <p>Fixar o relógio comparador na árvore, se esta puder ser travada; caso contrário, prender o relógio em uma parte fixa do cabeçote</p>
		<p>Planura da superfície da mesa</p>	<p>0,04 para comprimentos de mesa até 1000</p> <p>Para cada aumento de 1000, acrescentar 0,005 na tolerância, até um va- lor máximo de 0,05</p> <p>Tolerância local de 0,02 para qualquer comprimen- to de 300</p>	<p>Nível de precisão ou</p> <p>Régua e Blocos padrão</p>	<p>5.3.2.2 e 5.3.2.3</p> <p>Mesa e sola na posição central; mesa destravada; consola e sola travados</p>

Nº	ESQUEMAS	ENSAIOS	DESVIOS ADMISSÍVEIS (medidas em milímetros)	APARELHOS DE MEDIDA	OBSERVAÇÕES E REFERÊNCIAS A RECOMENDAÇÃO MF-A5-00.00
5		<p>Paralelismo entre a superfície da mesa e seus movimentos</p> <p>a) transversal</p> <p>b) longitudinal</p>	<p>0,025 para qualquer comprimento de 300</p> <p>0,025 para qualquer comprimento de 300</p> <p>Máximo no movimento total: 0,05</p>	<p>Régua</p> <p>Relógio comparador</p>	<p>5.4.2.2.1</p> <p>O apalpador do relógio comparador deve ser colocado próximo da posição de trabalho da ferramenta</p> <p>Consolo travado</p> <p>As medidas podem ser feitas sobre uma régua colocada paralelamente à superfície da mesa</p> <p>Fixar o relógio comparador na árvore, se esta puder ser travada; caso contrário, prender o relógio em uma parte fixa da máquina</p> <p>a) Mesa e cabeçote travados</p> <p>b) Selo e cabeçote travados</p>
6		<p>Paralelismo entre o eixo da árvore e a superfície da mesa</p>	<p>0,025 para qualquer comprimento de 300, só para baixo</p>	<p>Relógio comparador</p> <p>Mandril de teste</p>	<p>5.4.1.2.4</p> <p>Mesa e selo destravados; consolo travado</p> <p>A extremidade livre do mandril só pode estar inclinada para baixo</p>
7		<p>Paralelismo entre o eixo da árvore e o movimento transversal da mesa:</p> <p>a) no plano vertical</p> <p>b) no plano horizontal</p>	<p>0,025 para qualquer comprimento de 300, só para baixo</p> <p>0,025 para qualquer comprimento de 300</p>	<p>Relógio comparador</p> <p>Mandril de teste</p>	<p>5.4.2.2.3</p> <p>Mesa na posição central</p> <p>Consolo travado</p> <p>a) A extremidade livre do mandril só pode estar inclinada para baixo</p>
8		<p>Retitude da ranhura central ou da ranhura de referência da mesa</p>	<p>0,01 para qualquer comprimento de 500</p> <p>Máximo no comprimento total: 0,03</p>	<p>Régua</p> <p>Relógio comparador</p> <p>Cantoneiras ou</p> <p>Arame e Microscópio</p> <p>Cantoneira</p>	<p>5.2.1.2, 5.2.1.2.1, 5.2.1.2.3 ou 5.2.3.2</p> <p>A régua deve ser apoiada diretamente sobre a mesa</p> <p>O relógio comparador ou o microscópio devem ser fixados na cantoneira</p>

Nº	ESQUEMAS	ENSAIOS	DESVIOS ADMISSÍVEIS (medidas em milímetros)	APARELHOS DE MEDIDA	OBSERVAÇÕES E REFERÊNCIAS À RECOMENDAÇÃO MF-A5-00.00
9		<p>Ortogonalidade entre o eixo da árvore e a ranhura central ou ranhura de referência da mesa</p>	0,02/300	<p>Relógio comparador Cantoneira Suporte para fixação do relógio comparador na árvore</p>	<p>5.6.1.2.1 e 5.6.1.2.2 Mesa na posição central Mesa, sela e consola travadas</p>
10		<p>Paralelismo entre a ranhura central ou a ranhura de referência da mesa e o seu movimento longitudinal</p>	<p>0,015 para qualquer comprimento de 300 Máximo no movimento total: 0,04</p>	Relógio comparador	<p>5.4.2.2.1 e 5.4.2.2.1 Sela e consola travadas Fixar o relógio comparador na árvore, se este puder ser travado; caso contrário, prender o relógio em uma parte fixa da máquina</p>
11		<p>Ortogonalidade entre os movimentos transversal e longitudinal da mesa</p>	0,02/300	<p>Régua Relógio comparador Esquadro</p>	<p>5.6.2.2.4 Consola travado Fixar o relógio comparador na árvore, se este puder ser travado; caso contrário, prender o relógio em uma parte fixa da máquina Colocar a régua paralelamente ao movimento longitudinal da mesa. Apolar o esquadro na régua. Travar a mesa na posição central Verificar a ortogonalidade entre os movimentos, encostando o espaldador na aba do esquadro, movendo a sela</p>
12		<p>Paralelismo entre o braço superior e o eixo da árvore: a) no plano vertical b) no plano horizontal</p>	<p>0,02 para qualquer comprimento de 300, só para baixo 0,02 para qualquer comprimento de 300</p>	<p>Relógio comparador Mandril de teste Dispositivo de teste ou Nível de precisão Mandril de teste</p>	<p>5.4.1.2.1 e 5.4.1.2.5 ou 5.4.1.2.3 e 5.4.2.2.4 Braço superior travado Braço superior somente pode estar inclinado para baixo</p>

Nº	ESQUEMAS	ENSAIOS	DESVIOS ADMISSÍVEIS (medidas em milímetros)	APARELHOS DE MEDIDA	OBSERVAÇÕES E REFERÊNCIAS À RECOMENDAÇÃO MF-A5-00.00
13	<p>Alternativa:</p>	<p>Coincidência entre os eixos da árvore e do furo da luneta:</p> <p>a) no plano vertical</p> <p>b) no plano horizontal</p>	<p>0,03, só para baixo</p> <p>0,03</p>	<p>Relógio comparador</p> <p>Mandril de teste</p>	<p>5.4.2.2.4 e 5.4.4.2</p> <p>Luneta a 300 do nariz da árvore</p> <p>As medidas devem ser feitas bem próximas da luneta</p> <p>Braço superior travado e não conectado ao consolo</p> <p>Eixo do furo da luneta só mais baixo que o eixo da árvore</p> <hr/> <p>Para este ensaio não é necessário seguir a Recomendação MF-A5-00.00</p> <p>O palpador do relógio comparador, colocado sobre a árvore, deve tocar o furo da luneta.</p> <p>Na comparação com o desvio admissível, os valores obtidos devem ser divididos por dois</p>
14		<p>a) Imprecisão total do giro da superfície cilíndrica externa do nariz da árvore</p> <p>b) Bamboamento da face do nariz da árvore</p> <p>c) Deslocamento axial periódico</p>	<p>0,01</p> <p>0,02</p> <p>0,01</p>	<p>Relógio comparador</p> <p>Superes</p>	<p>5.2.1.2.2, 5.2.2.1, 5.2.2.2 e 5.6.3.2</p> <p>a) Para máquinas com essas características</p> <p>b) Inclui o deslocamento axial periódico</p> <p>A distância "A", entre o relógio comparador e o eixo da árvore (ensaio b), deve ser a maior possível</p> <p>A força "F" (ensaio b e c), especificada pelo fabricante da máquina, deve ser exercida em direção ao cabeçote da máquina</p>
16		<p>Imprecisão total do giro do cone interno da árvore:</p> <p>a) próximo ao nariz da árvore</p> <p>b) a uma distância de 300 do nariz da árvore</p>	<p>0,01</p> <p>0,02</p>	<p>Relógio comparador</p> <p>Mandril de teste</p>	<p>5.6.1.2.3</p>
18		<p>Ortogonalidade entre o eixo da árvore e a superfície da mesa:</p> <p>a) no plano vertical da simetria da máquina</p> <p>b) no plano vertical perpendicular ao plano de simetria</p>	<p>0,025/300 ou <math>\leq 90^\circ</math></p> <p>0,025/300</p>	<p>Relógio comparador</p> <p>Suporte</p> <p>Blanco padrão</p>	<p>5.5.1.2.2 e 5.5.1.2.4.2</p> <p>Não se aplica à máquinas de cabeçote universal</p> <p>Cabeçote, mesa, eixo e consolo travados</p>

MIC 21	FRESADORA DE COLUNA E CONSOLO com árvore horizontal ou vertical FOLHAS DE RESULTADOS		IPT MF-A5-07.20
FABRICANTE:		MODELO:	
N.º		DATA:	
N.º	ENSAIOS	Medidas em milímetros	
		DESVIOS ADMISSÍVEIS	VALORES MEDIDOS
1	Retitude do movimento vertical do consolo: a) no plano vertical transversal b) no plano vertical longitudinal	0,025/300 0,025/300	/300 /300
2	Ortogonalidade entre a superfície da mesa e as guias da coluna para o consolo: a) no plano vertical transversal b) no plano vertical longitudinal	0,025/300 $\alpha \leq 90^\circ$ 0,025/300	/300 /300
3	Ortogonalidade entre a superfície da mesa e as guias da coluna para o cabeçote: a) no plano vertical transversal b) no plano vertical longitudinal	0,025/300 $\alpha \leq 90^\circ$ 0,025/300	/300 /300
4	Planeza da superfície da mesa.	Tolerância local: 0,02/300	/300
5	Paralelismo entre a superfície da mesa e seus movimentos: a) transversal b) longitudinal	0,025/300 0,025/300 Máximo: 0,05	/300 /300
6	Paralelismo entre o eixo da árvore e a superfície da mesa.	0,025/300, só para baixo.	/300
7	Paralelismo entre o eixo da árvore e o movimento transversal da mesa: a) no plano vertical b) no plano horizontal	0,025/300, só para baixo. 0,025/300	/300 /300
8	Retitude da ranhura em "T".	0,01/500 Máximo: 0,03	/500

(continua na folha 2)

(\*) Os desvios admissíveis variam com as dimensões da máquina (ver Folhas de Ensaios).



Nº	ENSAIOS	Medidas em milímetros	
		DESVIOS ADMISSÍVEIS	VALORES MEDIDOS
9	Ortogonalidade entre o eixo da árvore e a ranhura em "T".	0,02/300	/300
10	Paralelismo entre a ranhura em "T" e o movimento longitudinal.	0,015/300 Máximo: 0,04	/300
11	Ortogonalidade entre os movimentos transversal e longitudinal da mesa.	0,02/300	/300
12	Paralelismo entre o braço superior e o eixo da árvore:		
	a) no plano vertical	0,02/300, só para baixo.	/300
	b) no plano horizontal	0,02/300	/300
13	Coincidência entre os eixos da árvore e do furo da luneta:		
	a) no plano vertical	0,03, eixo da luneta somente mais baixo.	
	b) no plano horizontal	0,03	
14	a) Imprecisão total de giro da superfície cilíndrica externa do nariz da árvore	0,01	
	b) Bamboaleamento	0,02	
	c) Deslocamento axial periódico	0,01	
15	Imprecisão total de giro do cone interno:		
	a) junto ao nariz da árvore	0,01	
	b) a 300 do nariz da árvore	0,02	
16	Ortogonalidade entre o eixo da árvore e a superfície da mesa:		
	a) no plano vertical transversal	0,025/300 $\alpha \leq 90^\circ$	/300
	b) no plano vertical longitudinal	0,025/300	/300
17	Usinagem de três faces, ortogonais entre si, de um paralelepípedo:		
	a) planeza da superfície usinada com a face frontal da fresa	0,02	
	b) paralelismo entre a face superior e a face de apoio do paralelepípedo	0,03	
	c) ortogonalidade entre as faces usinadas	0,02/100	/100
Laboratório:		Visto:	

<b>MIC</b> <b>32</b>	<p style="text-align: center;"><b>TORNOS</b></p> <p style="text-align: center;">diâmetro torneável sobre o barramento até 800 mm</p> <p style="text-align: center;">Precisão e Ensaios</p>	<p style="text-align: center;">IPT</p> <p style="text-align: center;">MF-A5-11.11</p>
-------------------------	--	---

### Relação da Matéria

- 1 OBJETIVO
- 2 PRECISÃO GEOMÉTRICA REQUERIDA
- 3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ENSAIO
- 4 FOLHAS DE ENSAIOS
- 5 FOLHAS DE RESULTADOS – MODELO

#### OBJETIVO

Esta Recomendação especifica a precisão geométrica exigida para tornos com diâmetro torneável sobre o barramento até 800 mm, estabelecendo os desvios permissíveis na precisão da construção da máquina. Para a verificação dessa precisão, descreve os métodos de ensaio.

Esta Recomendação é aplicável a máquinas de precisão normal, de uso geral. Não inclui os ensaios especiais de funcionamento da máquina (capacidade de corte, vibrações, ruído, avanço irregular \*), nem a verificação dos parâmetros técnicos (velocidades, avanços, amplitude dos movimentos e outros).

#### 2. PRECISÃO GEOMÉTRICA REQUERIDA

As máquinas devem estar de acordo com a precisão especificada na coluna de desvios admissíveis, desta Recomendação.

Para a verificação dessas medidas, os ensaios devem ser executados de acordo com os detalhes descritos nas Folhas de Ensaio e os requisitos especificados no ítem 3.

#### 3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ENSAIO

3.1 Os ensaios devem ser conduzidos segundo a Recomendação MF-A5-00.00, particularmente quanto à correta instalação da máquina, ao aquecimento da árvore e de outras partes móveis. A descrição dos métodos de medida e as observações quanto à precisão dos equipamentos de ensaio também devem ser consideradas.

3.2 Os ensaios podem ser feitos na ordem considerada mais prática, para facilitar a montagem dos instrumentos e calibradores. A seqüência, na qual essas verificações estão ordenadas nesta Recomendação, está relacionada com a seqüência de montagem da máquina.

3.3 Os ensaios práticos devem ser feitos com usinagem de acabamento. As peças devem ser preparadas na própria máquina e não devem ser removidas antes do término do ensaio.

3.4 O valor mínimo para o desvio admissível, nos tornos de precisão normal, é 0,01 mm. Não deve ser exigida tolerância menor que esse valor, nos ensaios realizados em intervalos de medida diferentes do especificado.

(\*) Movimento irregular devido à imprecisão da cadeia cinemática, ou devido à sua elasticidade associada à diferença entre os atritos estático e dinâmico das guias (stick-slip).

**3.5** Para a apresentação dos resultados das medidas, usar as Folhas de Resultados desta Recomendação.

**3.6** Todas as medidas, indicadas nesta Recomendação, são em milímetros.

#### **4. FOLHAS DE ENSAIOS**

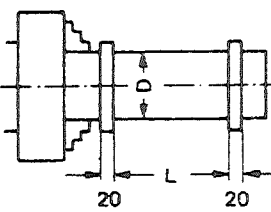
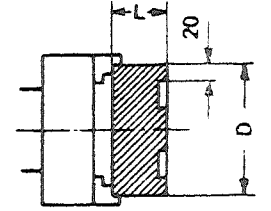
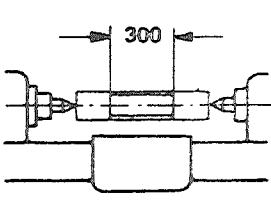
Os ensaios devem ser executados de acordo com as instruções das folhas anexas.

#### **5. FOLHAS DE RESULTADOS – MODELO**

**5.1** Os modelos anexos servem para a apresentação dos resultados dos ensaios.

**5.2** Nas Folhas de Resultados devem constar o nome do fabricante, modelo da máquina, número da máquina, data do ensaio, nome do laboratório responsável e o visto de inspeção.

Nota — A presente Recomendação baseia-se na BS 4656: Part 1: 1970; DIN 8606-1941; Schlesinger — Testing machine tools. Machinery Publ. Co. Ltd., 1966 e JIS B 6202-1966.

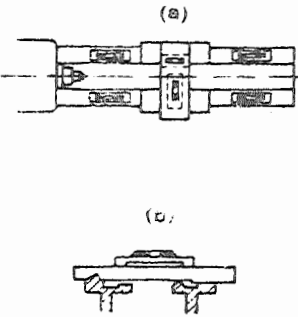
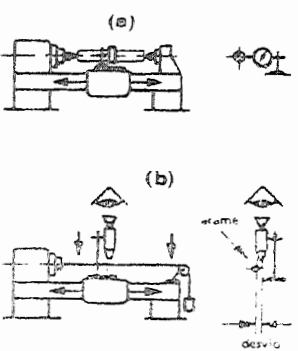
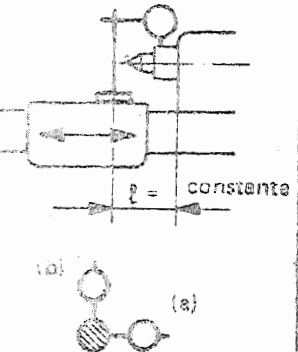
Nº	Esquemas	Ensaio Práticos	Condições de Usinagem	Verificações	Desvios Admissíveis (medidos em milímetros)	Aparelhos de Medida	Observações e Referências à Recomendação MF-A5-00.00
16		<p>Usinagem de peça cilíndrica, fixada na placa, ou no eixo de árvore</p> $D > \frac{D_0}{6}$ $L = \frac{D_0}{2}$	<p>Usinar a peça em duas seções, com comprimento máximo de 20</p> <p>As condições de usinagem e o tipo de ferramenta, são fixados pelo fabricante</p>	<p>a) Circularidade b) Cilindricidade</p> <p>A conicidade pode ser tal que o maior diâmetro esteja próximo da placa</p>	<p>0,01 0,04/300</p>	<p>Micrômetro ou Equipamento de precisão para eixo</p>	<p>3.1 e 3.2.2; 4.1 e 4.2</p>
17		<p>Faseamento de peça cilíndrica, fixada na placa</p> $D > \frac{D_0}{2}$ $L \text{ máx.} = \frac{D_0}{6}$	<p>Fazer uma peça em duas ou três superfícies, das quais uma deve ser central</p> <p>As condições de usinagem e o tipo de ferramenta, são fixados pelo fabricante</p>	<p>Planura</p> <p>As superfícies só podem ser côncavas</p>	<p>0,025, para 300 de diâmetro</p>	<p>Régua Blocos padrão</p>	<p>3.1 e 3.2.2; 4.1 e 4.2</p>
18		<p>Roscamento de uma peça cilíndrica, L = 300</p> <p>Rosa métrica, ISO, triangular. O diâmetro deve ser o mais próximo possível do diâmetro do parafuso de movimento</p> <p>O passo deve ser igual à metade do passo do parafuso de movimento</p>	<p>A usinagem pode ser feita em qualquer posição na máquina</p> <p>As condições de usinagem e o tipo de ferramenta, são fixados pelo fabricante</p>	<p>Precisão do passo</p>	<p>0,04/300, para Dc &lt; 2000</p> <p>Para cada aumento de 1000, na distância entre centros, acrescentar 0,005 na tolerância, até um valor máximo de 0,06</p> <p>Tolerância local de 0,015 para qualquer comprimento de 60</p>	<p>Aparelhos especiais de medida de roscas</p>	<p>3.1 e 3.2.2; 4.1 e 4.2; 6.1 e 6.2</p>

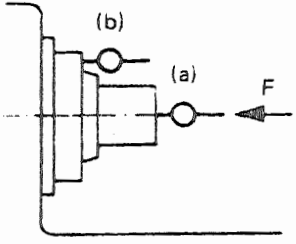
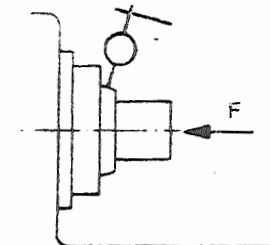
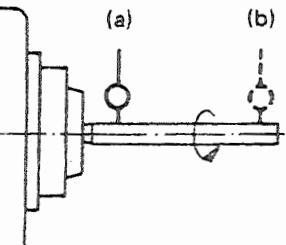
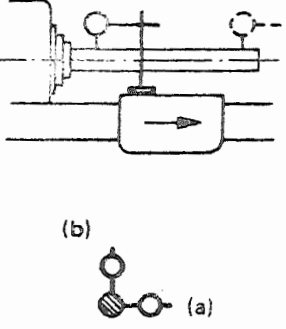
Nota:  
 D<sub>0</sub> = Diâmetro máximo torneável sobre o barramento.  
 D<sub>c</sub> = Distância entre os contra-pontas.

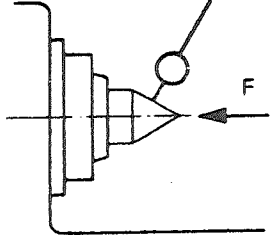
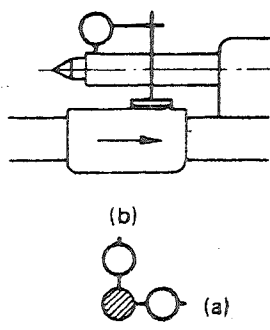
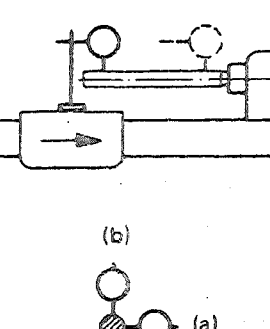
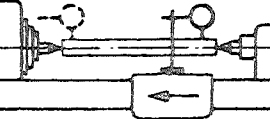
MIC  
32

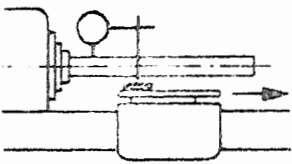
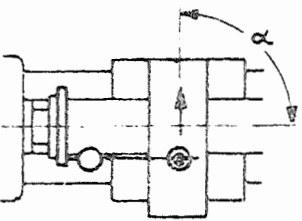
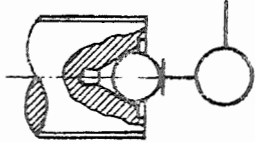
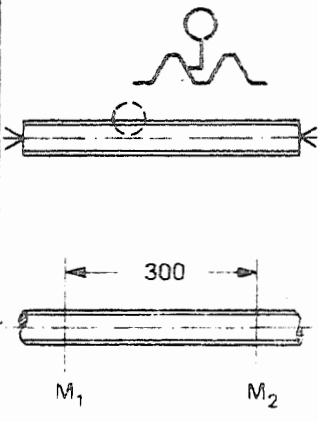
TORNOS  
diâmetro torneável sobre o barramento até 800 mm  
FOLHAS DE ENSAIOS

IPT  
MF-A5-11.11

Nº	ESQUEMAS	ENSAIOS	DESVIOS ADMISSÍVEIS (medidos em milímetros)	APARELHOS DE MEDIDA	OBSERVAÇÕES E REFERÊNCIAS À RECOMENDAÇÃO MF-A5-00.00
1		<p>Nivelamento do barramento:</p> <p>a) na direção longitudinal: retitude do barramento</p> <p>b) na direção transversal: guias em um mesmo plano</p>	<p><math>D_c \leq 500</math>: 0,01, convexo  <math>500 &lt; D_c \leq 1000</math>: 0,020, convexo  Tolerância local de 0,0075 para qualquer comprimento de 250  <math>D_c &gt; 1000</math>: 0,02 + 0,01, para cada aumento de 1000, convexo  Tolerância local de 0,015 para qualquer comprimento de 500</p> <p>0,04/1000</p>	<p>Nível de precisão Métodos ópticos</p>	<p>3.1.1, 5.2.1.2.2.1 e 5.2.1.2.2.2  O ensaio deve ser feito sobre o barramento  Colocar o carro no centro e manter nesta posição durante o ensaio  As verificações devem ser feitas em todas as direções, com espaçamentos iguais  O nível deve ser colocado, em um plano transversal, sobre as guias e as medidas devem ser feitas em posições ao longo das guias. A variação de leitura, em qualquer posição, não deve exceder o desvio admissível</p>
2		<p>Retitude do movimento do carro, em um plano horizontal, em relação à linha de centro</p>	<p><math>D_c \leq 500</math>: 0,015  <math>500 &lt; D_c &lt; 1000</math>: 0,02  Para cada aumento de 1000, na distância entre centros, acrescentar 0,005 na tolerância, até um valor máximo de 0,03</p>	<p>Relógio comparador e Mandril entre centros ou Régua para <math>D_c &lt; 1500</math> ou  Arame e microscópio ou métodos ópticos, qualquer que seja o valor de <math>D_c</math></p>	<p>5.2.3.2.1 ou 5.2.3.2.3; ou 5.2.1.2.3 e 5.2.3.2.3  O comprimento do mandril deve ser igual à máxima distância admissível entre centros</p>
3		<p>Paralelismo entre as guias do cabeçote da contra-ponta e o movimento do carro:</p> <p>a) no plano horizontal  b) no plano vertical</p>	<p>a) e b)  <math>D_c \leq 1500</math>: 0,03  Tolerância local de 0,02 para qualquer comprimento de 500  a) e b)  <math>D_c &gt; 1500</math>: 0,04  Tolerância local de 0,03 para qualquer comprimento de 500</p>	<p>Relógio comparador</p>	<p>5.4.2.2.5  O cabeçote da contra-ponta deve ser posicionado o mais próximo possível do carro. Travar o mangote e movimentar o cabeçote e o carro juntos, de modo que o relógio comparador, fixado no carro, encoste sempre no mesmo ponto do mangote  Durante as medidas o cabeçote deve ser travado, como em condições normais de trabalho</p>

Nº	ESQUEMAS	ENSAIOS	DESVIOS ADMISSÍVEIS (medidas em milímetros)	APARELHOS DE MEDIDA	OBSERVAÇÕES E REFERÊNCIAS À RECOMENDAÇÃO MF-A5-00.00
4		<p>a) Deslocamento axial periódico b) Bamboaleamento da superfície de apoio da placa</p>	<p>0,01 0,02, incluindo o deslocamento axial periódico</p>	<p>Relógio comparador Dispositivo de teste</p>	<p>5.6.2, 5.6.2.1.2, 5.6.2.2.1, 5.6.2.2.2 e 5.6.3.2 A força "F" deve ser especificada pelo fabricante</p>
5		<p>Imprecisão total de giro do nariz da árvore</p>	<p>0,01</p>	<p>Relógio comparador</p>	<p>5.6.1.2.2 e 5.6.2.1.2 Posicionar o relógio comparador perpendicularmente à superfície cônica, se o nariz da árvore for cônico A força "F" deve ser especificada pelo fabricante</p>
6		<p>Imprecisão total de giro do cone interno da árvore: a) junto ao nariz da árvore b) e uma distância de 300 do nariz da árvore</p>	<p>0,01 0,02</p>	<p>Relógio comparador Mandril de teste</p>	<p>5.6.1.2.3</p>
7		<p>Paralelismo entre o eixo da árvore e o movimento longitudinal do carro: a) no plano horizontal b) no plano vertical</p>	<p>0,015/300, só para frente 0,02/300, só para cima</p>	<p>Relógio comparador Mandril de teste</p>	<p>5.4.1.2.1 e 5.4.2.2.3</p>

Nº	ESQUEMAS	ENSAIOS	DESVIOS ADMISSÍVEIS (medidas em milímetros)	APARELHOS DE MEDIDA	OBSERVAÇÕES E REFERÊNCIAS À RECOMENDAÇÃO MF-A5-00.00
8		<p>Imprecisão total de giro da contra-ponta do cabeçote</p>	0,015	Relógio comparador	<p>5.6.1.2.2 e 5.6.2.1.2 A haste do relógio comparador deve ser colocada perpendicularmente à superfície do cone. As leituras obtidas devem ser divididas por <math>\cos \alpha</math>, sendo <math>\alpha</math> a metade do ângulo do cone.</p>
9		<p>Paralelismo entre o eixo do mangote e o movimento do carro: a) no plano horizontal b) no plano vertical</p>	<p>0,015/100, só para frente 0,02/100, só para cima</p>	Relógio comparador	5.4.2.2.3 Mangote distendido e travado
10		<p>Paralelismo entre o eixo do furo cônico do mangote e o movimento do carro: a) no plano horizontal b) no plano vertical</p>	<p>0,03/300, só para frente 0,03/300, só para cima</p>	Relógio comparador Mandril de teste	5.4.4.2.3 Mangote recolhido e travado
11		<p>Diferença de altura entre os eixos da árvore e do mangote</p>	0,04, eixo do mangote só pode estar acima do eixo da árvore	Relógio comparador Mandril de teste	5.4.2.2.3 Mangote recolhido e travado Medir nas extremidades do mandril

Nº	ESQUEMAS	ENSAIOS	DESVIOS ADMISSÍVEIS (medidas em milímetros)	APARELHOS DE MEDIDA	OBSERVAÇÕES E REFERÊNCIAS À RECOMENDAÇÃO MF-A5-00.00
12		Paralelismo entre o movimento longitudinal do carro porta-ferramenta e o eixo da árvore	0,04/300	Relógio comparador Mandril de teste	5.4.2.2.3 Porta-ferramenta na posição de trabalho. Medir em um plano vertical, depois de posicionar o porta-ferramenta paralelamente à árvore, em um plano horizontal
13		Ortogonalidade entre o movimento transversal do carro e o eixo da árvore	0,02/300 Sentido do erro: $\alpha \geq 90^\circ$	Relógio comparador Disco plano ou Régua Relógio comparador	3.2.2 e 5.5.2.2.3
14		Deslocamento axial devido ao bamboaleamento dos mancais de escora	0,015	Relógio comparador	5.6.2.2.1 e 5.6.2.2.2 Eliminar este ensaio, se o ensaio nº 13 for executado
15		Precisão do deslocamento gerado pelo parafuso de movimento	0,04/300, para $D_c \leq 2000$ Para cada aumento de 1000, na distância entre centros, acrescentar 0,005 na tolerância, até um valor máximo de 0,05/300  Tolerância local de 0,015 para qualquer comprimento de 50	Blocos padrão Relógio comparador ou Régua de precisão Microscópio	6.1 e 6.2 Comparar o deslocamento teórico (número de voltas da árvore, vezes o avanço), com o deslocamento real, medido com blocos padrão e relógio comparador, ou com régua de precisão e microscópio



MIC 32	TORNO diâmetro torneável sobre o barramento até 800 mm FOLHAS DE RESULTADOS	IPT MF-A5-11.11	
FABRICANTE:		MODELO:	
Nº		DATA:	
Nº	ENSAIOS	Medidas em milímetros	
		DESVIOS ADMISSÍVEIS	VALORES MEDIDOS
1	Nivelamento do barramento: a) na direção longitudinal: retitude do barramento b) na direção transversal: guias em um mesmo plano	* Tolerância local: 0,015/500 0,04/1000	/500 /1000
2	Retitude do movimento do carro, em um plano horizontal, em relação à linha de centro.	*	
3	Paralelismo entre as guias do cabeçote da contra-ponta e o movimento do carro: a) no plano horizontal b) no plano vertical	*	
4	a) Deslocamento axial periódico b) Bamboleamento da superfície de apoio da placa	0,01 0,02	
5	Imprecisão total de giro do nariz da árvore.	0,01	
6	Imprecisão total de giro do cone interno da árvore: a) junto ao nariz da árvore b) a 300 do nariz da árvore	0,01 0,02	
7	Paralelismo entre o eixo da árvore e o movimento longitudinal do carro: a) no plano horizontal b) no plano vertical	0,015/300, só para frente. 0,02/300, só para cima.	/300 /300
8	Imprecisão total de giro da contra-ponta.	0,015	

(continua na folha 2)

(\*) Os desvios admissíveis variam com as dimensões da máquina (ver Folhas de Ensaíos).

Nº	ENSAIOS	Medidas em milímetros	
		DESVIOS ADMISSÍVEIS	VALORES MEDIDOS
9	Paralelismo entre o eixo do mangote e o movimento do carro: a) no plano horizontal b) no plano vertical	0,015/100, só para frente. 0,02/100, só para cima.	/100  /100
10	Paralelismo entre o eixo do furo cônico do mangote e o movimento do carro: a) no plano horizontal b) no plano vertical	0,03/300, só para frente. 0,03/300, só para cima.	/300  /300
11	Diferença de altura entre os eixos da árvore e do mangote.	0,04, eixo do mangote só pode estar acima do eixo da árvore.	
12	Paralelismo entre o movimento longitudinal do carro porta-ferramenta e o eixo da árvore.	0,04/300	/300
13	Ortogonalidade entre o movimento transversal do carro e o eixo da árvore.	0,02/300 $\alpha \geq 90^\circ$	/300
14	Deslocamento axial devido ao bamboleamento dos mancais de escora.	0,015	
15	Precisão do deslocamento gerado pelo parafuso de movimento.	Tolerância local: 0,015/50	/50
16	Usinagem de peça cilíndrica, fixada na placa, ou no cone da árvore. Condições de usinagem:	Circularidade: 0,01 Cilindricidade: 0,04/300, maior diâmetro, junto à placa.	/300
17	Faceamento de peça cilíndrica, fixada na placa. Condições de usinagem:	0,025, para 300 de diâmetro.	
18	Roscamento de uma peça cilíndrica, L = 300. Condições de usinagem:	Tolerância local: 0,015/50	/50
Laboratório:		Visto:	
(*) Os desvios admissíveis variam com as dimensões da máquina (ver Folhas de Ensaio).			