

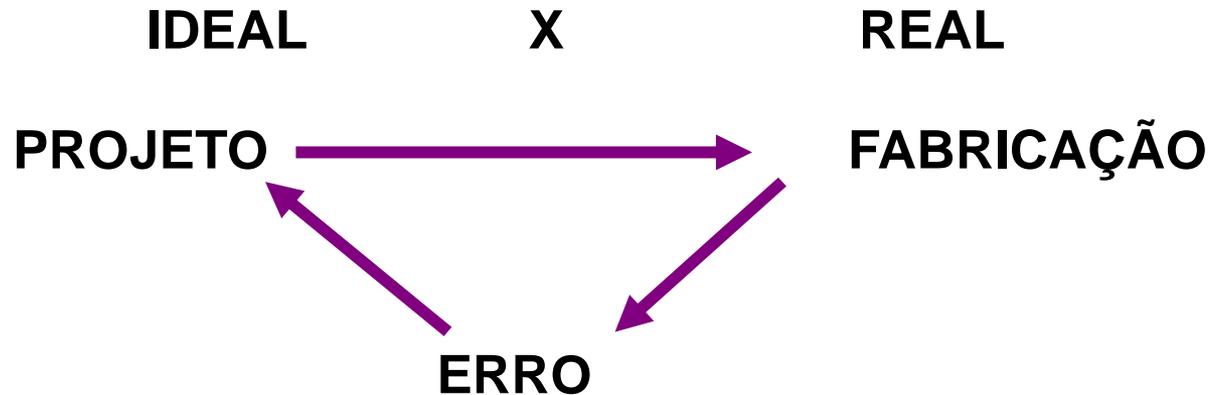
# PMR 3103

## TOLERÂNCIAS em ENGENHARIA MECÂNICA

Tolerâncias Dimensionais  
Tolerâncias Geométricas  
Rugosidade Superficial

# Tolerâncias em Projeto e Manufatura Mecânica

## 1. CONCEITO:



## 2. O PROCESSO PRODUTIVO:

### ATÉ XVIII - ARTESÃO

-CADA EQUIPAMENTO É ÚNICO

-CADA PEÇA DO CONJUNTO DEVE SER AJUSTADA

**1793** - **ELI WHITNEY** (1765-1825) – INVENTA A DESCAROÇADEIRA DE ALGODÃO



**1798** -PROPOSTA AO GOVERNO DE FABRICAÇÃO DE MOSQUETES COM PEÇAS INTERCAMBIAVEIS PARA O SISTEMA DE PERCUSSÃO DA PEDERNEIRA



10.000 MOSQUETES FABRICADOS EM HAMDEN - CONNECTICUT

**1802** - **ELI TERRY** - USA OS PRINCÍPIOS DE WHITNEY

IMPLANTA UMA FÁBRICA DE RELÓGIOS EM PLYMOUTH

## **FABRICAÇÃO ARTESANAL**

BAIXA PRODUTIVIDADE

PEÇAS ÚNICAS

EQUIPAMENTOS ÚNICOS

AJUSTES COM CUSTO ELEVADO

## **FABRICAÇÃO SERIADA**

ALTA PRODUTIVIDADE

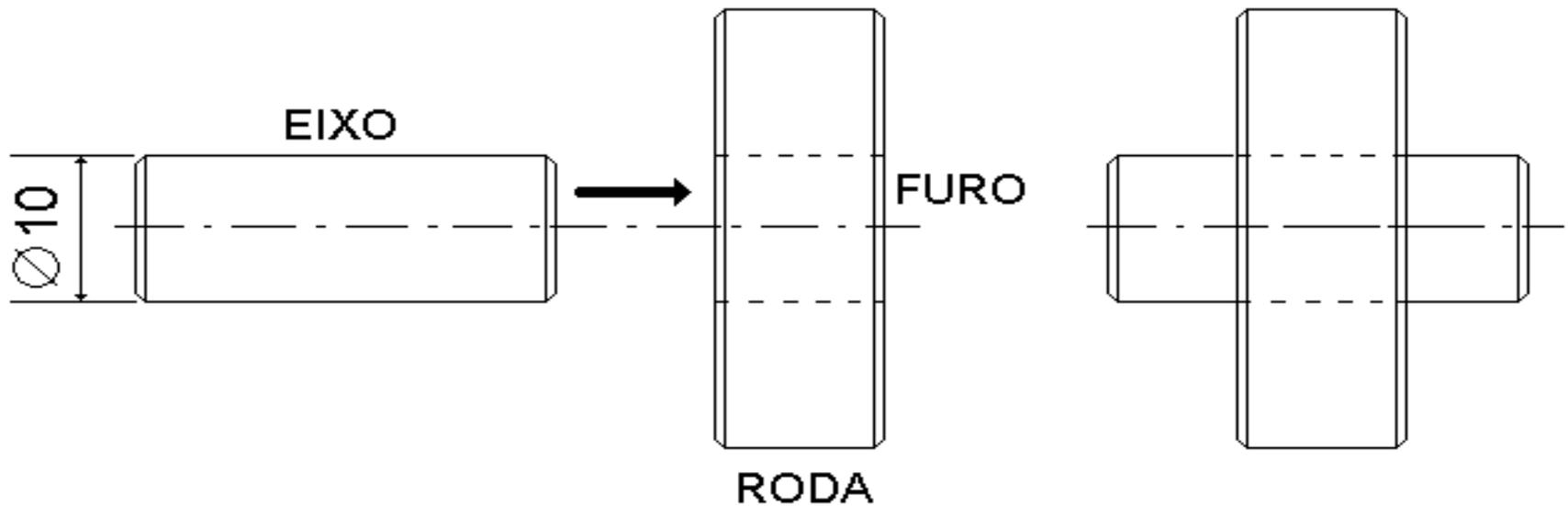
PEÇAS PADRONIZADAS

INTERCAMBIABILIDADE

REDUÇÃO DOS CUSTOS, MANTENDO A QUALIDADE



## **FABRICAÇÃO GLOBALIZADA**



DIÂMETRO NOMINAL (TEÓRICO) DO EIXO - 10 mm

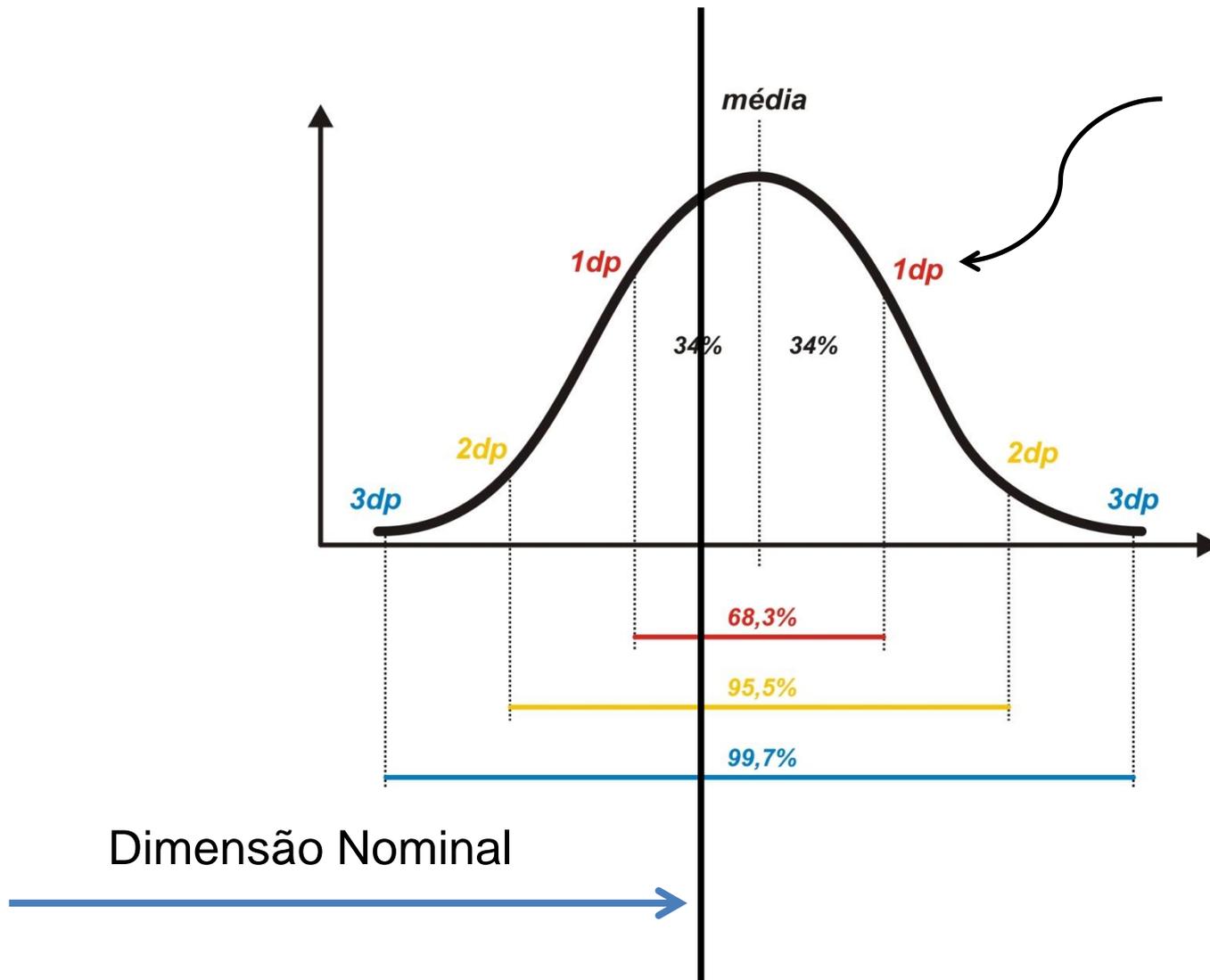
DIÂMETRO REAL ( MEDIDO) : 10,05 - 9,98 - 9,95 - 9,90 - 10,10 -  
.ETC - **ACEITÁVEL?**

**VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS PARA O EIXO E A RODA**

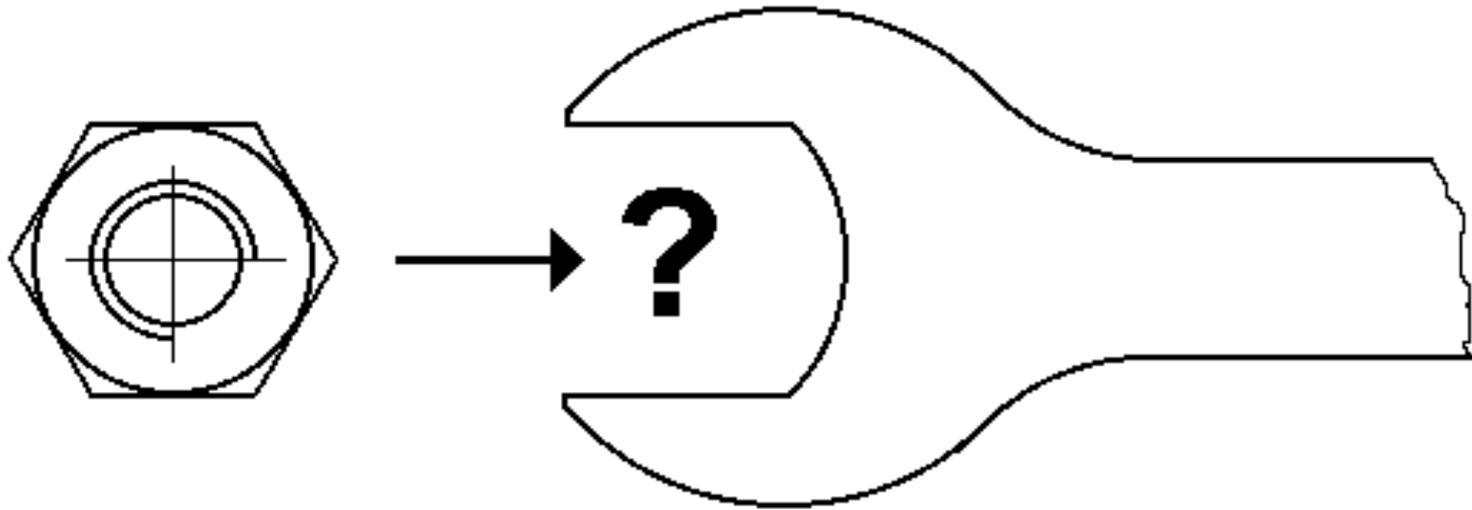


<https://www.youtube.com/watch?v=RfnoAFW2L2c>

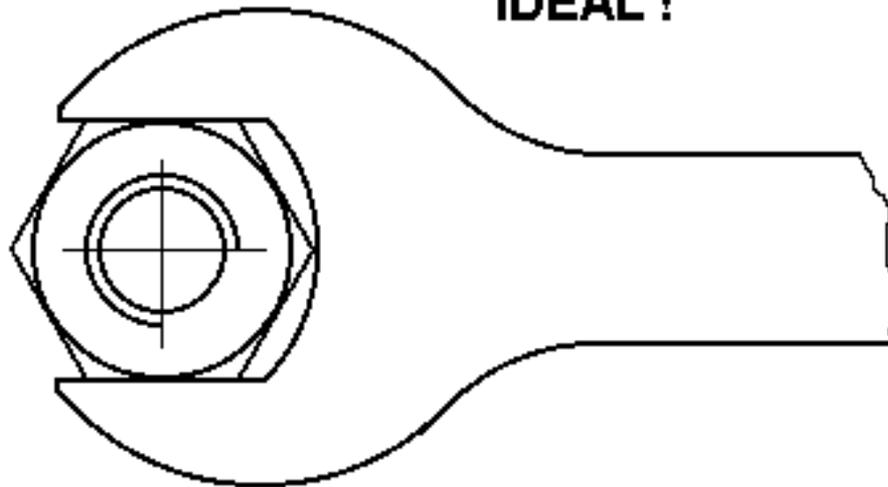
# Distribuição das Dimensões Reais Fabricadas



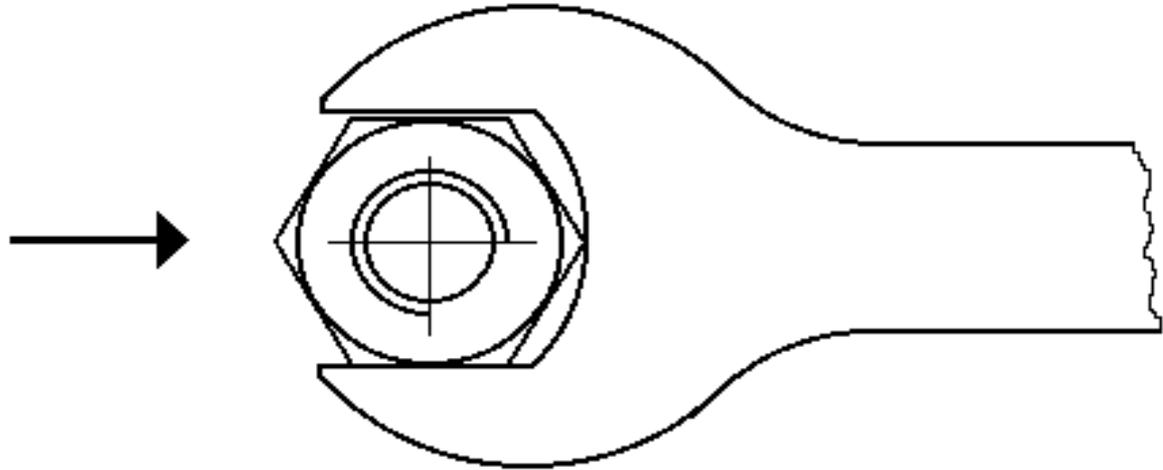
# COMO GARANTIR A MONTAGEM CORRETA ENTRA A CHAVE A PORCA?



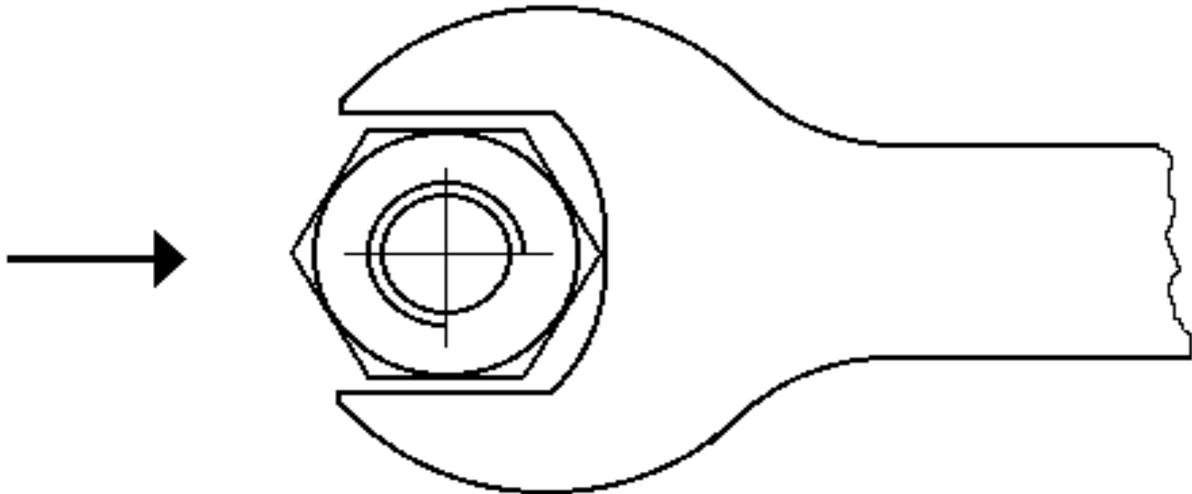
**IDEAL !**



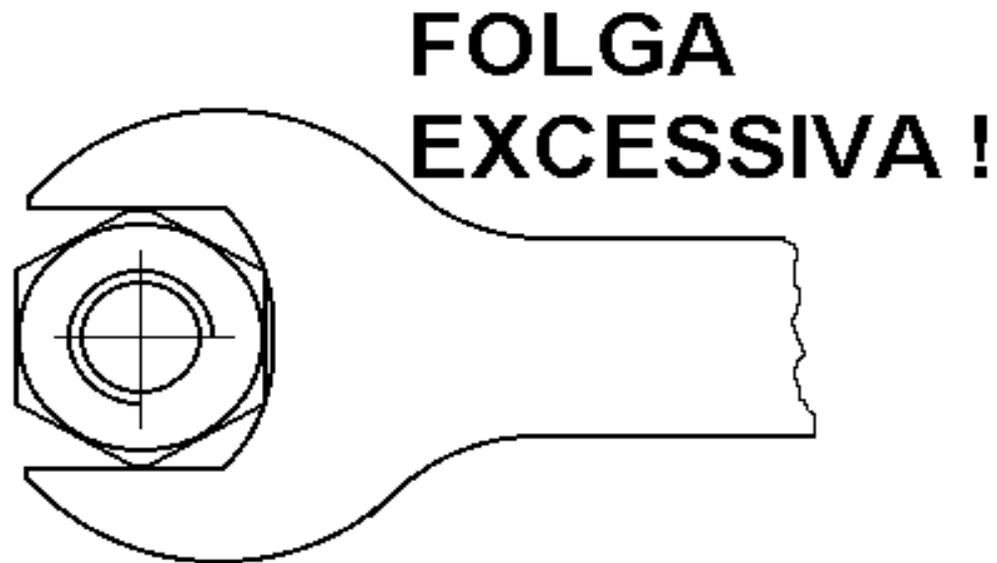
**REAL (PEÇAS FABRICADAS) :**



**OU ?**



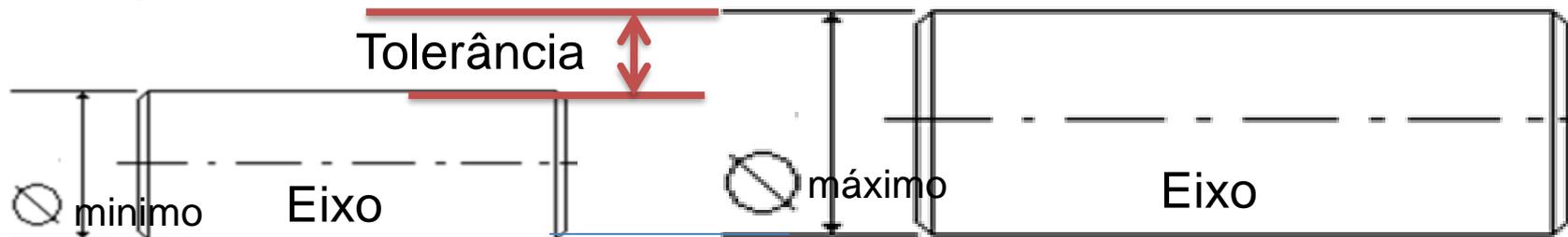
**A especificação do AJUSTE é fundamental para o funcionamento correto!**



**NÃO OCORRE APERTO  
A PORCA "ESPANA"**

### 3. DEFINIÇÃO GERAL DE TOLERÂNCIA:

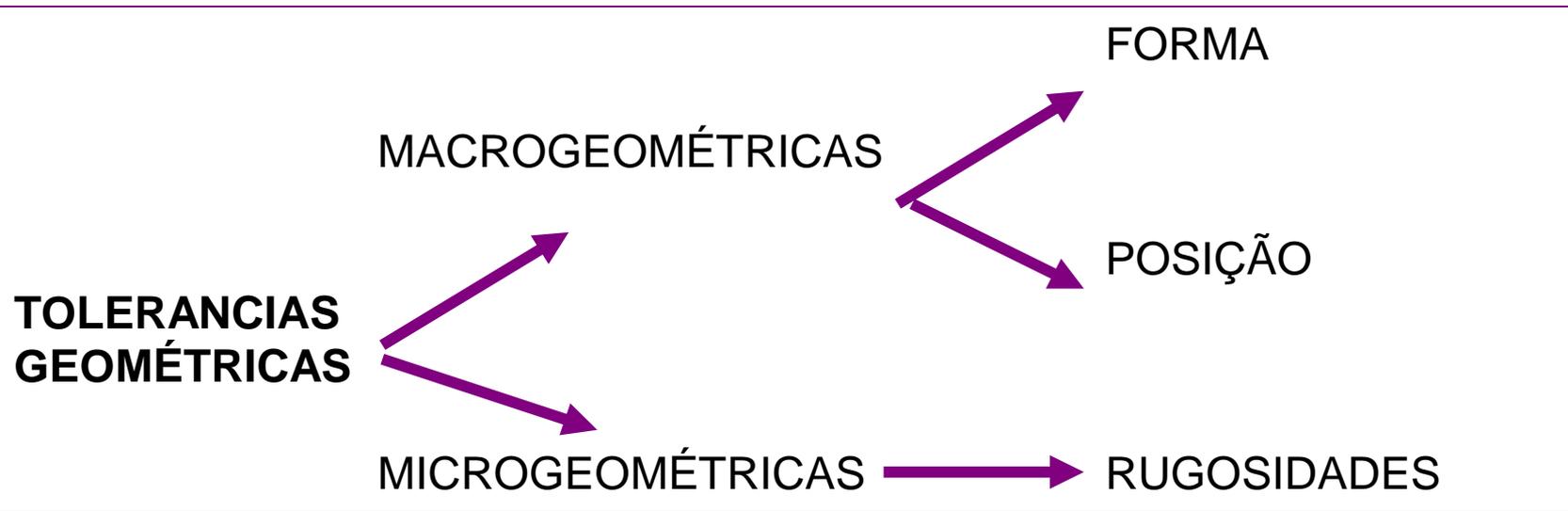
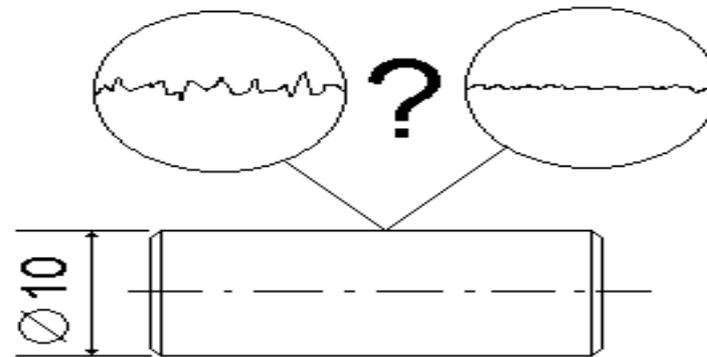
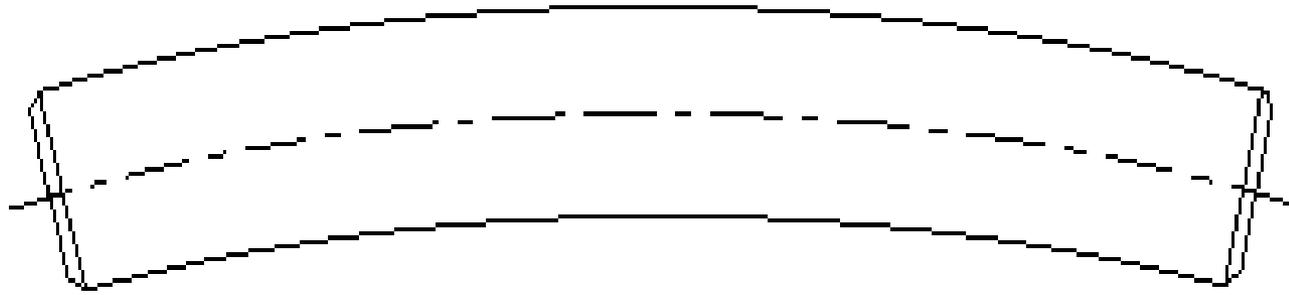
**TOLERÂNCIA É A MÁXIMA VARIAÇÃO ADMISSÍVEL DE UMA GRANDEZA FÍSICA DE UMA PEÇA OU CONJUNTO DE PEÇAS, PARA QUE SEJAM MANTIDAS SUAS CONDIÇÕES FUNCIONAIS DE PROJETO.**

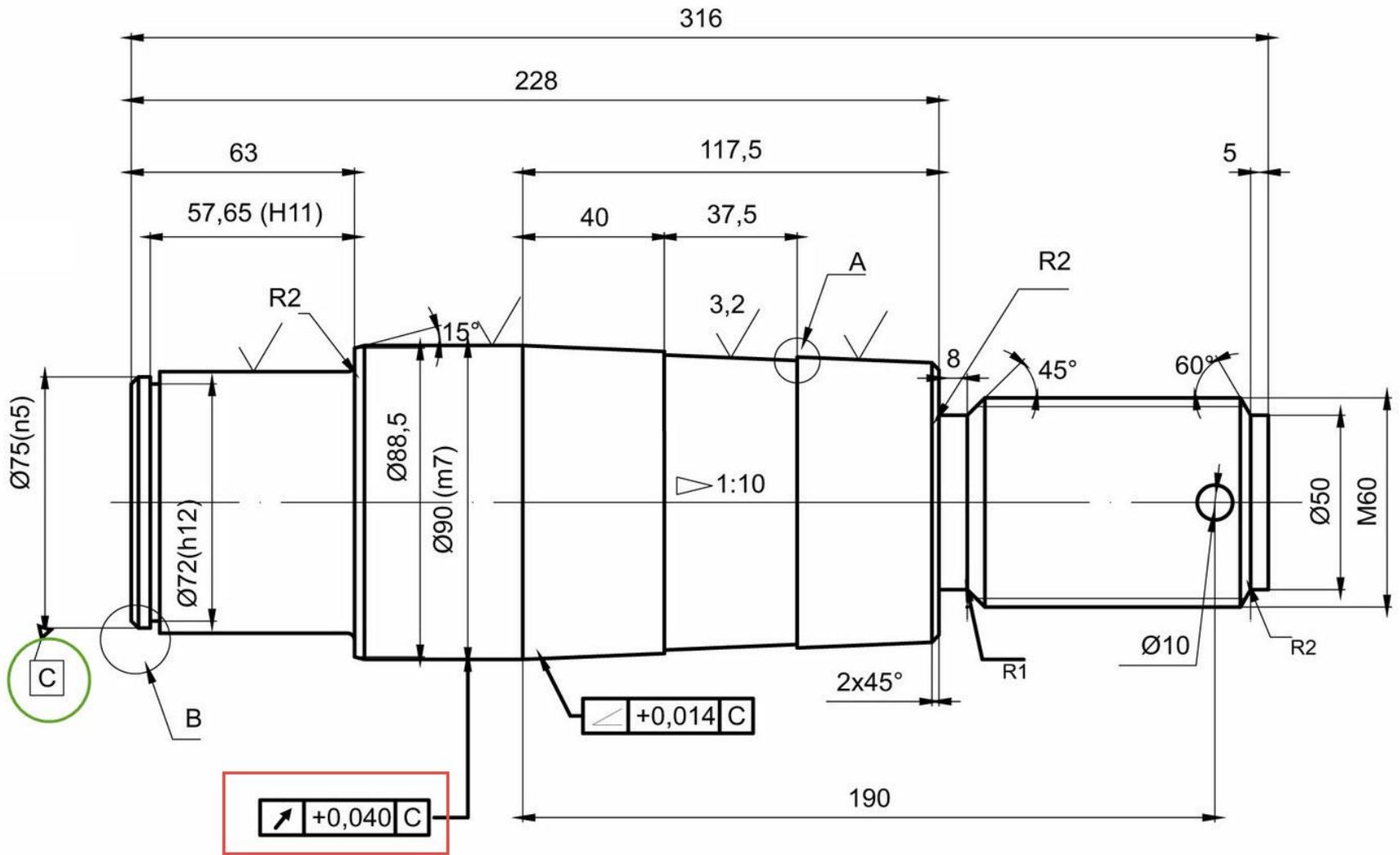


### 4. TIPOS DE TOLERÂNCIAS CONTROLADAS:

**TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS**

**EM ALGUNS CASOS NÃO SÃO SUFICIENTES**





## DEFINIÇÃO E REALIZAÇÃO DA TOLERÂNCIA

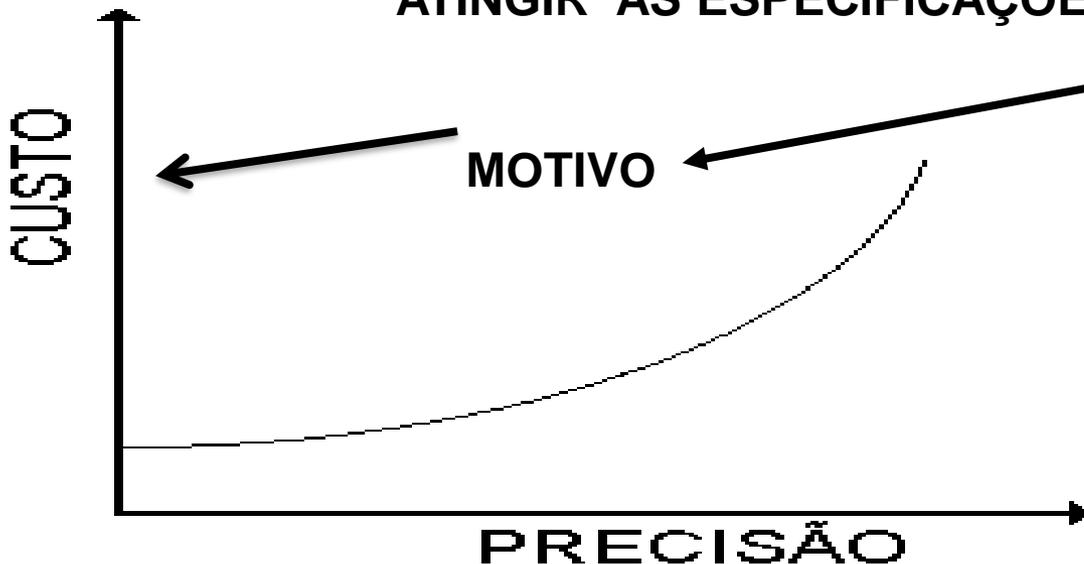
QUEM DEFINE A TOLERÂNCIA: O ENG. DE PROJETO



QUEM REALIZA A TOLERÂNCIA: O ENG. DE FABRICAÇÃO

PRINCIPAL FATOR NA DEFINIÇÃO DA TOLERÂNCIA: **FUNÇÃO** DA PEÇA/CONJUNTO

PRINCÍPIO: DEVE-SE SEMPRE ESPECIFICAR A MAIOR TOLERÂNCIA (MENOR PRECISÃO) POSSÍVEL QUE PERMITA ATINGIR AS ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO.



## Numeros Normais e Dimensionamento

Em projeto mecânico, números normais ( “preferred numbers” em inglês) são padrões de orientação para a escolha de dimensões dos produtos dentro de um conjunto dado de limitações. O engenheiro projetista deve escolher um número grande de comprimentos, distâncias, diâmetros, volumes e outras quantidades características. Apesar destas escolhas serem vinculadas à considerações de funcionalidade, usabilidade, compatibilidade, segurança ou custo, ainda permanece uma considerável flexibilidade na escolha exata para muitas dimensões.

Os números normais servem a dois propósitos:

- O uso deles aumenta a probabilidade de compatibilidade entre objetos projetados em épocas diferentes por pessoas diferentes. Em outras palavras é uma tática, entre outras, em **standardização**, dentro de uma companhia ou industria e é normalmente desejável em termos industriais. (O motivo oposto pode também ser válido, se é do interesse financeiro de um fabricante: por exemplo, o fabricante de produtos de consumo pode ter interesse financeiro na falta de compatibilidade, na obsolescência planejada e na venda de uma marca e de peças de reposição específicas.
- Eles são escolhidos de maneira que quando um produto é fabricado em diferentes tamanhos, eles estarão igualmente espaçados numa escala logarítmica. Eles ajudam a minimizar o número de diferentes tamanhos que precisam ser fabricados ou mantidos em estoque

# Séries de Números Normais ( Preferred Numbers)



## Séries de Renard ( Cel. Charles Renard- Engenheiro do Exército Francês)

$\sqrt[i]{10}$  = razão da progressão

R5: 1.00 1.60 2.50 4.00 6.30

R10: 1.00 1.25 1.60 2.00 2.50 3.15 4.00 5.00 6.30 8.00

R20: 1.00 1.25 1.60 2.00 2.50 3.15 4.00 5.00 6.30 8.00  
1.12 1.40 1.80 2.24 2.80 3.55 4.50 5.60 7.10 9.00

R40: 1.00 1.25 1.60 2.00 2.50 3.15 4.00 5.00 6.30 8.00  
1.06 1.32 1.70 2.12 2.65 3.35 4.25 5.30 6.70 8.50  
1.12 1.40 1.80 2.24 2.80 3.55 4.50 5.60 7.10 9.00  
1.18 1.50 1.90 2.36 3.00 3.75 4.75 6.00 7.50 9.50



## AJUSTE FORÇADO:

PEÇAS SEM MOVIMENTO RELATIVO E/OU COM RETENÇÃO PARA TRANSMISSÃO DE ESFORÇOS - PODEM CAUSAR DANOS ÀS PEÇAS NA DESMONTAGEM.

$$\begin{array}{l} \text{EIXO: } \phi 70 +0,000 / -0,019 \quad \text{FURO: } \phi 70 -0,032 / -0,062 \\ \quad \quad \quad 70,000 \quad 69,981 \quad \quad \quad 69,968 \quad 69,938 \end{array}$$

$$\text{INTERFERÊNCIA MÁXIMA} = -0,062 - 0,000 = \mathbf{-0,062} = 69,938 - 70,000$$

$$\text{INTERFERÊNCIA MÍNIMA} = -0,032 - (-0,019) = \mathbf{-0,013} = 69,968 - 69,981$$

## AJUSTE INCERTO:

POSICIONAMENTO PRECISO DE PEÇAS, SEM MOVIMENTO RELATIVO E SEM TRANSMISSÃO DE ESFORÇOS (pelo Ajuste) - DESMONTÁVEIS.

**EIXO:**  $\phi 70 +0,000 / -0,019$       **FURO:**  $\phi 70 +0,018 / -0,012$   
70,000      69,981                      70,018      69,988

INTERFERÊNCIA MÁXIMA =  $-0,012 - 0,000 = -0,012 = 69,988 - 70,000$

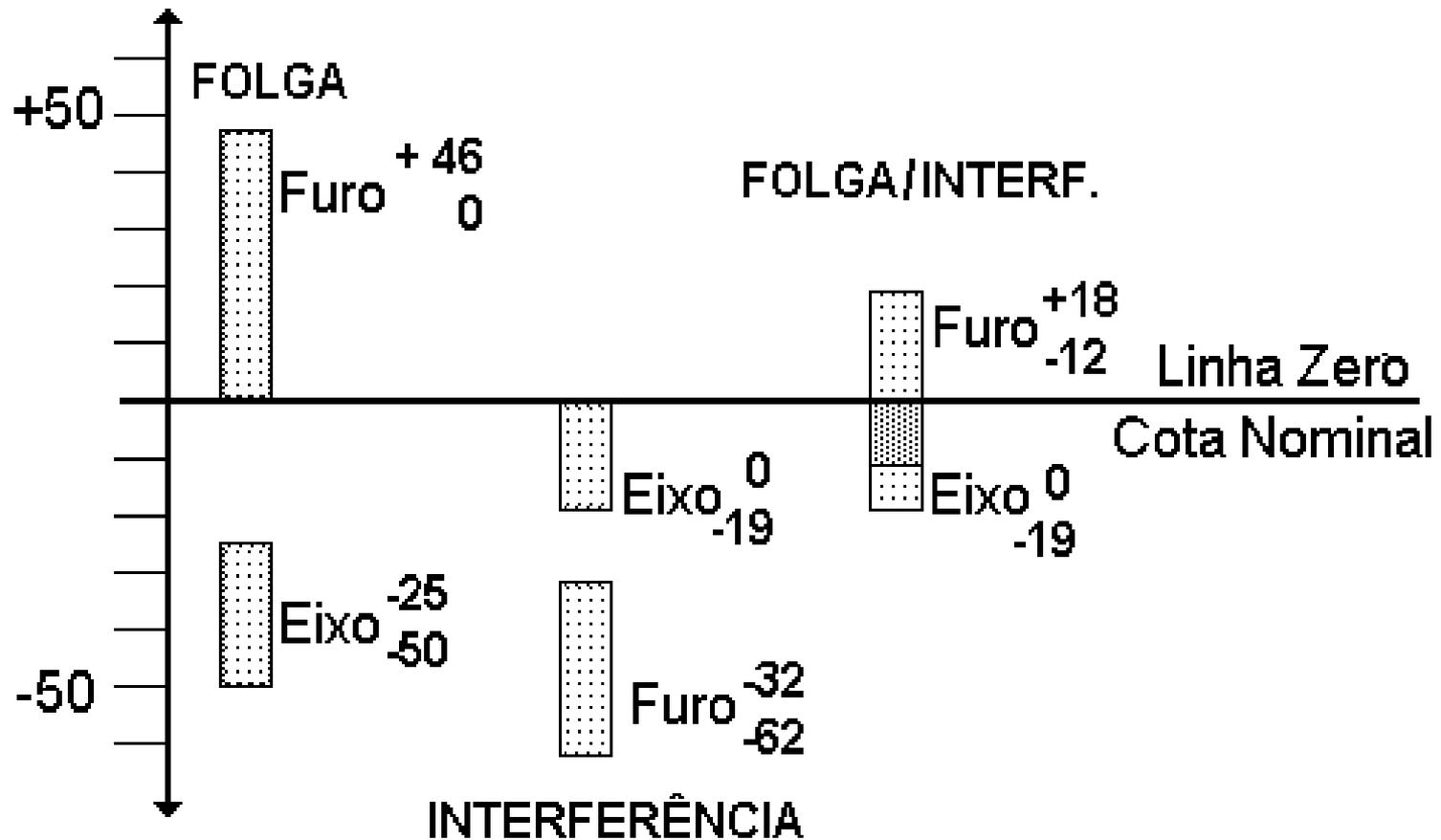
FOLGA MÁXIMA =  $0,018 - (-0,019) = 0,037 = 70,018 - 69,981$

## 6 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS AJUSTES

**EIXO:**  $\phi 70 -0,025 / -0,050$      **FURO:**  $\phi 70 +0,000 / +0,046$

**EIXO:**  $\phi 70 +0,000 / -0,019$      **FURO:**  $\phi 70 -0,032 / -0,062$

**EIXO:**  $\phi 70 +0,000 / -0,019$      **FURO:**  $\phi 70 +0,018 / -0,012$





**DIMENSÃO (COTA) EFETIVA:** VALOR REAL (MEDIDO) NA PEÇA

**AFASTAMENTO SUPERIOR:** DIFERENÇA ALGÉBRICA ENTRE A DIMENSÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL E A DIMENSÃO NOMINAL

**AFASTAMENTO INFERIOR:** DIFERENÇA ALGÉBRICA ENTRE A DIMENSÃO MÍNIMA ADMISSÍVEL E A DIMENSÃO NOMINAL

**CAMPO DE TOLERÂNCIA:** É A DIFERENÇA ALGÉBRICA ENTRE O AFASTAMENTO SUPERIOR E O INFERIOR

### 5.3.2 PADRONIZAÇÃO DAS NORMAS ISO / ABNT

**DIMENSÕES:** 2 CAMPOS  
ATÉ 500 MM



GRUPOS DE DIMENSÕES

DE 500 MM ATÉ 3150 MM

### **5.3.3 UNIDADE DE TOLERÂNCIA**

$$i = 0,45 D^{1/3} + 0,001D \text{ (até 500 mm)}$$

$$I = 0,004 D + 2,1 \text{ ( de 500 mm até 3150 mm)}$$

#### **OBJETIVO:**

MANTER O MESMO GRAU DE PRECISÃO EM TODAS AS PEÇAS COM A MESMA QUALIDADE ( TOLERÂNCIA FUNDAMENTAL), INDEPENDENTEMENTE DA DIMENSÃO NOMINAL.

#### **INDICAÇÃO GENÉRICA DAS QUALIDADES ( 01, 0, 1, ..., 18):**

ATÉ 5 - CALIBRADORES E INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

DE 5 ATÉ 11 - PEÇAS DE USO GERAL PARA MONTAGEM DE EQUIPAMENTOS

DE 11 ATÉ 18 - PEÇAS GROSSEIRAS E ISOLADAS

### 5.3.4 CAMPO DE TOLERÂNCIAS - TOLERÂNCIAS FUNDAMENTAIS – QUALIDADE DE TRABALHO

ATÉ 500 MM => 19 QUALIDADES (IT01, IT0, IT1, ..., IT17)

DE 500 ATÉ 3150 => 11 QUALIDADES (IT6, ..., IT16)

#### TOLERÂNCIAS FUNDAMENTAIS PARA DIMENSÕES ATÉ 500 MM

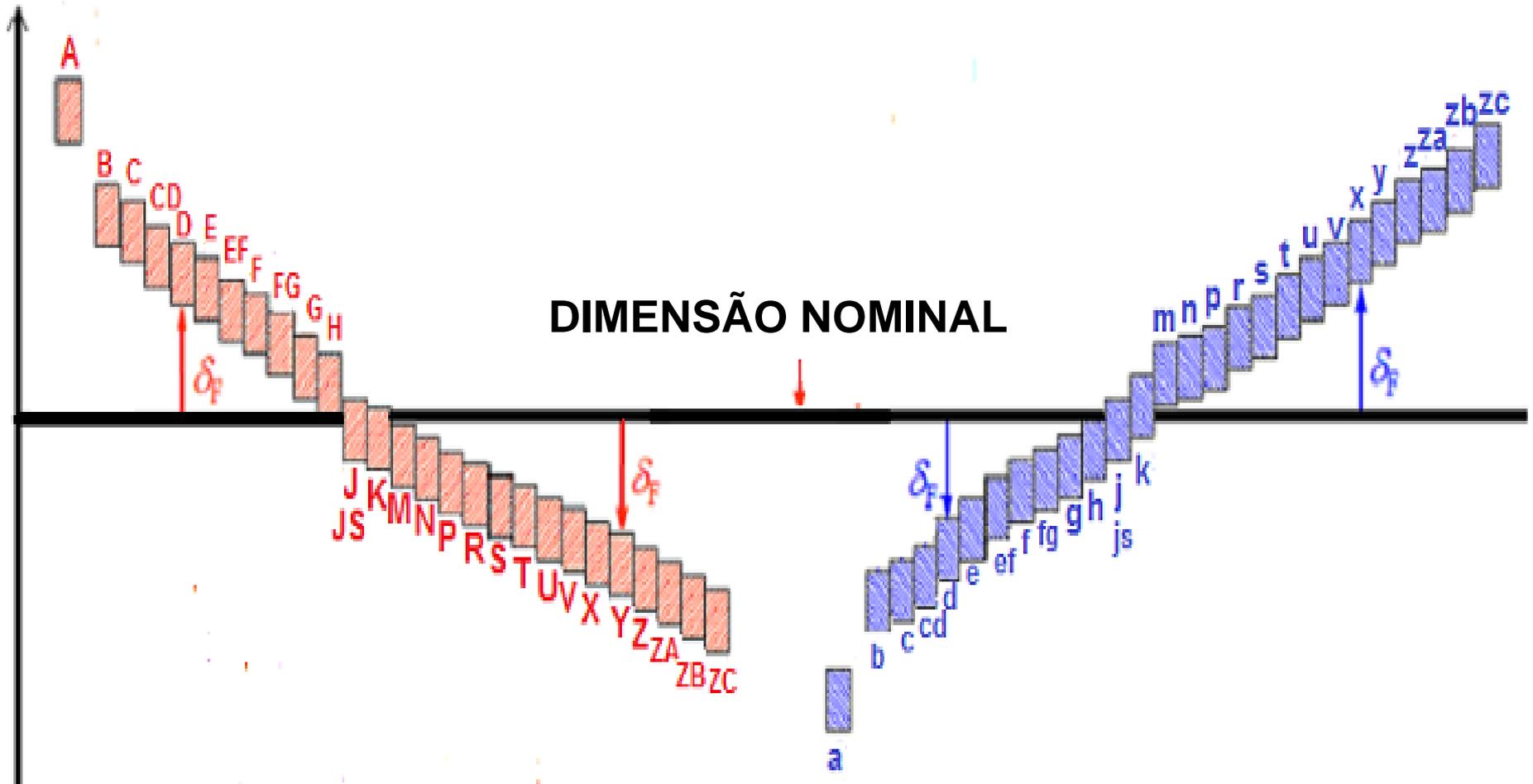
IT	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i

	For Measuring Tools							For Material										
IT Grades	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
								For Fits				For Large Manufacturing Tolerances						

# 5.4 POSIÇÃO DO CAMPO DE TOLERÂNCIA EM RELAÇÃO À LINHA ZERO

28 POSIÇÕES - DESVIOS FUNDAMENTAIS

**A, B, ..., ZC** PARA **FUROS** **a, b, ..., zc** PARA **EIXOS**



## 5.5 Tolerâncias Dimensionais - Tabelas ISO

- Indicam a **composição dos desvios fundamentais com a qualidade de trabalho**, permitindo a leitura direta dos afastamentos superior e inferior admissíveis para uma determinada dimensão, como função da tolerância dimensional definida para a mesma.
- A especificação da tolerância dimensional de uma dimensão específica é dada pela seguinte representação:

$$\phi 30 \text{ H7} \quad \text{ou} \quad \phi 30 \begin{matrix} +0,021 \\ +0,000 \end{matrix}$$

$$\phi 30 \text{ f7} \quad \text{ou} \quad \phi 30 \begin{matrix} -0,020 \\ -0,041 \end{matrix}$$

# Tolerâncias Dimensionais - Tabelas ISO

Dimen.	IT 05	IT06	IT07	IT08	IT09	IT10	IT11	IT12
De 3 a 6	5	8	12	18	30	48	75	120
De 6 a 10	6	9	15	22	36	58	90	150
De 10 a 18	8	11	18	27	43	70	110	180
De 18 a 30	9	13	21	33	52	84	130	210

1)

	Afastamento Superior								Afastamento Inferior		
	a	b	c	d	e	f	g	h	m	n	p
Dimen.	-	-	-	-	-	-	-		+	+	+
De 3 a 6	270	140	70	30	20	10	4	0	4	8	12
De 6 a 10	280	150	80	40	25	13	5	0	6	10	15
De 10 a 18	290	150	95	50	32	16	6	0	7	12	18
De 18 a 30	300	160	110	65	40	20	7	0	8	15	22

1)

	Afastamento Inferior								Afastamento Superior		
	A	B	C	D	E	F	G	H	M <sup>(1)</sup>	N <sup>(2)</sup>	P <sup>(3)</sup>
Dimen.	+	+	+	+	+	+	+		-	-	-
De 3 a 6	270	140	70	30	20	10	4	0	4	8	12
De 6 a 10	280	150	80	40	25	13	5	0	6	10	15
De 10 a 18	290	150	95	50	32	16	6	0	7	12	18
De 18 a 30	300	160	110	65	40	20	7	0	8	15	22

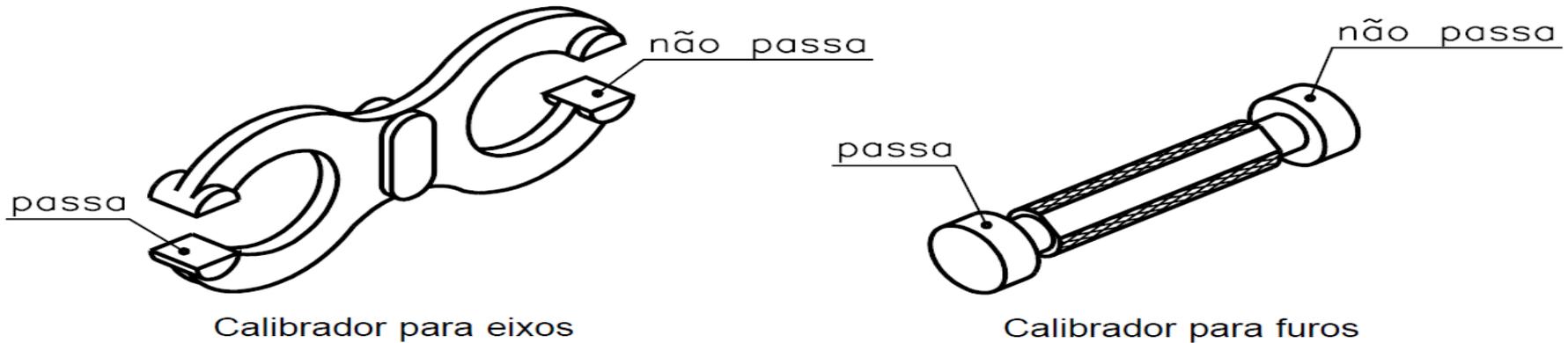
1)

- (1) Para qualidades de trabalho acima de IT 8
- (2) Para qualidades de trabalho acima de IT 9
- (3) Para qualidades de trabalho acima de IT 7

# Tolerâncias Dimensionais - Tabelas ISO

Basic size mm		Standard tolerance grades																	
		IT1 <sup>2)</sup>	IT2 <sup>2)</sup>	IT3 <sup>2)</sup>	IT4 <sup>2)</sup>	IT5 <sup>2)</sup>	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 <sup>3)</sup>	IT15 <sup>3)</sup>	IT16 <sup>3)</sup>	IT17 <sup>3)</sup>	IT18 <sup>3)</sup>
Above	Up to and including	Tolerances																	
		$\mu\text{m}$												mm					
—	3 <sup>3)</sup>	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630 <sup>2)</sup>	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800 <sup>2)</sup>	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000 <sup>2)</sup>	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250 <sup>2)</sup>	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600 <sup>2)</sup>	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000 <sup>2)</sup>	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500 <sup>2)</sup>	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150 <sup>2)</sup>	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

## Calibradores Passa e Não-Passa



Quais as dimensões passa e não-passa de um calibrador para eixos de diâmetro nominal 25 mm h7

Quais as dimensões passa e não-passa de um calibrador para furos de diâmetro nominal 25 mm H8

## 6. SISTEMAS DE AJUSTES

2 SISTEMAS BÁSICOS:



**SISTEMA EIXO - BASE** => A COTA DO EIXO TEM POSIÇÃO DO CAMPO DE TOLERÂNCIA - **h**

**SISTEMA FURO - BASE** => A COTA DO FURO TEM POSIÇÃO DO CAMPO DE TOLERÂNCIA - **H**

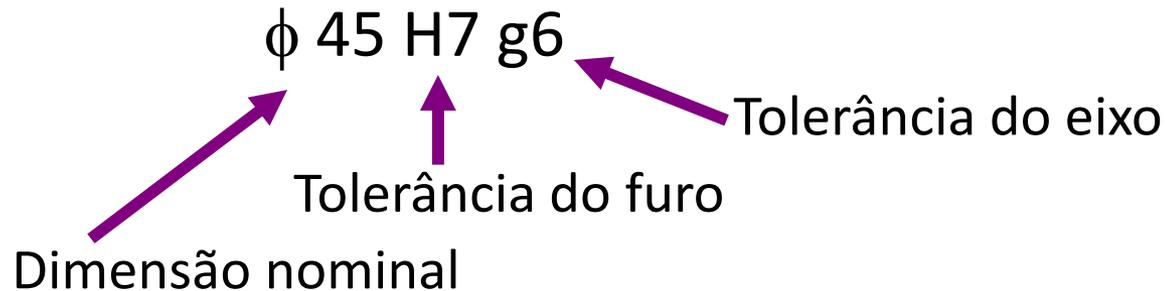
**ESCOLHA:** ADOPTAR POSIÇÃO  $H/h$  PARA A COTA (PEÇA) DE REFERÊNCIA OU DE MAIOR DIFICULDADE (CUSTO) DE FABRICAÇÃO.

**IMPORTANTE:** SOBRE UMA MESMA COTA NOMINAL (REGIÃO DA PEÇA) **NUNCA** ESPECIFICAR **MAIS DE 1 TIPO DE TOLERÂNCIA!**

**ESCOLHA PREFERENCIAL:** SISTEMA FURO-BASE.

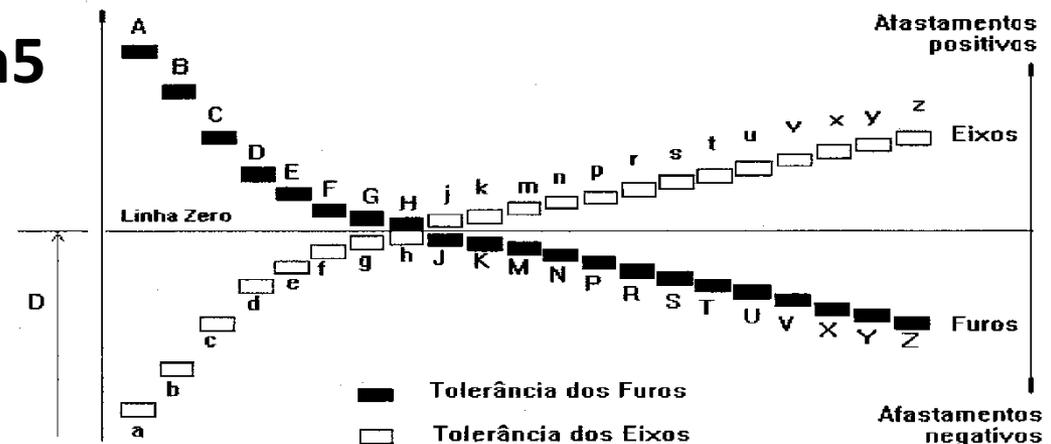
**POR QUÊ?**

- Indicação de um ajuste entre um furo e um eixo, indicar primeiro a tolerância do furo e na sequência a tolerância do eixo



- Equivalência entre ajustes nos sistemas eixo base e furo base

- H7 g6 equivale a G7 h6**
- H6 n5 equivale a N6 h5**



- **Tipos básicos de ajustes em função da precisão de fabricação**
- **PRECISOS**
- **H7/h6 – Deslizante. Deslocável à mão lubrif – Sem jogo**
- **H7/g6 – Rotativo justo - Sem jogo perceptível**
- **H7/f7 – Rotativo - Jogo Perceptível**
  
- **NORMAIS-FINOS**
- **H8/h8 – Deslizante sem esforço**
- **H8/f8 – Rotativo - Jogo Perceptível**
  
- **NORMAIS**
- **H11/h11 – Encaixe Fácil - Jogo pequeno**
- **H11/d11 – Encaixe Fácil - Jogo médio/alto**

# INDICAÇÕES DE AJUSTES DA BIBLIOGRAFIA

TOLERÂNCIAS ISO		TABELA 17
Ajustes furo-base de emprego comum		
Ajuste	APLICAÇÕES - MONTAGEM	EXEMPLOS
$\frac{H6}{g5}$	Partes rotativas de alta precisão, com cargas bastante fortes, lubrificação racional e sustentação hidrodinâmica correta. <b>Montagem:</b> à mão livre.	Eixos rotativos de aço, enriquecidos e retificados, em bronzinas (para não repassar à mão, com acoplamento externo H6/n5, ou para repassar à mão, com acoplamento externo H6/p5). Mandris de retificadoras e de alisadoras, em bronzinas registráveis (no ato do registro). Rotores de bombas com engrenagens a óleo, de alta precisão, na caixa (no sentido radial ou axial).
$\frac{H6}{h5}$ $\frac{H6}{h6}$	Centragens e acoplamentos de alta precisão, deslocáveis axialmente, ou dotados de movimento rotatório lento ou de caráter oscilatório, com lubrificação incerta. <b>Montagem:</b> de deslocamento manual.	Alavancas oscilantes móveis de cames, em bronzina. Hastes de pistões e pistões sem segmentos, para bombas de óleo. Luvas porta-mandris e mandris para fresadoras ou perfuradoras de alta precisão. Cavilhas nos patins de comando de juntas de alta precisão. Gavetas ou registros de oscilação axial ou rotativa, para comandos hidráulicos de alta precisão. Cunhas de posicionamento de alta precisão.
$\frac{H6}{j5}$ $\frac{H6}{j6}$	Acoplamentos de precisão, de partes reciprocamente paradas, destacáveis à mão; espaços fixos de centragem de alta precisão; acoplamentos estreitos deslizáveis axialmente, em geral em curtos espaços. <b>Montagem:</b> à mão com leves golpes de martelo.	Engrenagens de mudança, montadas com lingüetas. Brocas de centragem de posição, de dois diâmetros, na parte desmontável.
$\frac{H6}{n5}$	Acoplamentos bloqueados, não desmontáveis à mão. Partes que não precisam de suporte axial, assim como a rotação de força, a montar a quente com martelo de madeira ou à frio na prensa (esta operação frequentemente não permite montagens sucessivas). <b>Montagem:</b> à mão com martelo ou prensa e com diferença de temperatura.	Engrenagens de força fixas, montadas com lingüetas, para serem desmontadas raramente. Coroas de bronze para rodas dentadas helicoidais sobre eixo de aço ou de gusa. Entalhes planos desmontáveis (cavilhas de dois diâmetros, nas forquilhas para engrenagens). Bronzinas em sua parte externa (se for desmontável com uma certa frequência). Cavilhas de centragem a dois diâmetros (na parte em local fixo).

- **EXEMPLOS:**
- **Para diâmetros de 10 mm**

### PRECISO

- **H7/g6 – Rotativo justo. Sem jôgo perceptível**

	<b>+0,015</b>		<b>-0,005</b>
• <b>FURO H7 – <math>\phi</math> 10</b>		<b>EIXO g6 – <math>\phi</math> 10</b>	
	<b>0,000</b>		<b>-0,014</b>

- **FOLGA MÍNIMA = 0,005 mm      FOLGA MÁXIMA = 0,029 mm**

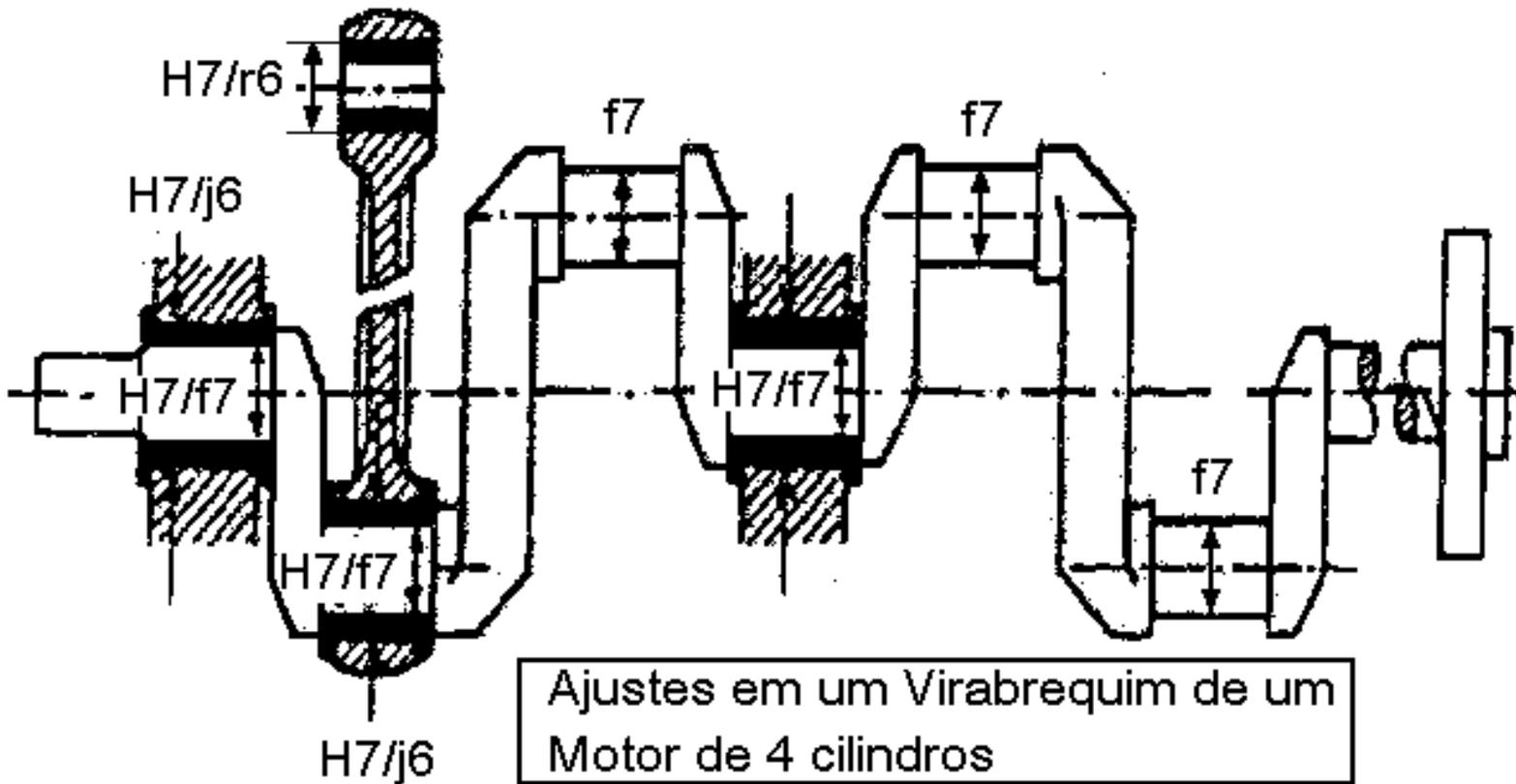
### NORMAIS

- **H11/d11 – Encaixe Fácil . Jôgo médio/alto**

	<b>+0,090</b>		<b>-0,040</b>
• <b>FURO H11 – <math>\phi</math> 10</b>		<b>EIXO d11 – <math>\phi</math> 10</b>	
	<b>0,000</b>		<b>-0,130</b>

- **FOLGA MÍNIMA = 0,040 mm      FOLGA MÁXIMA = 0,220 mm**

- Exemplo de ajuste entre componentes mecânicos



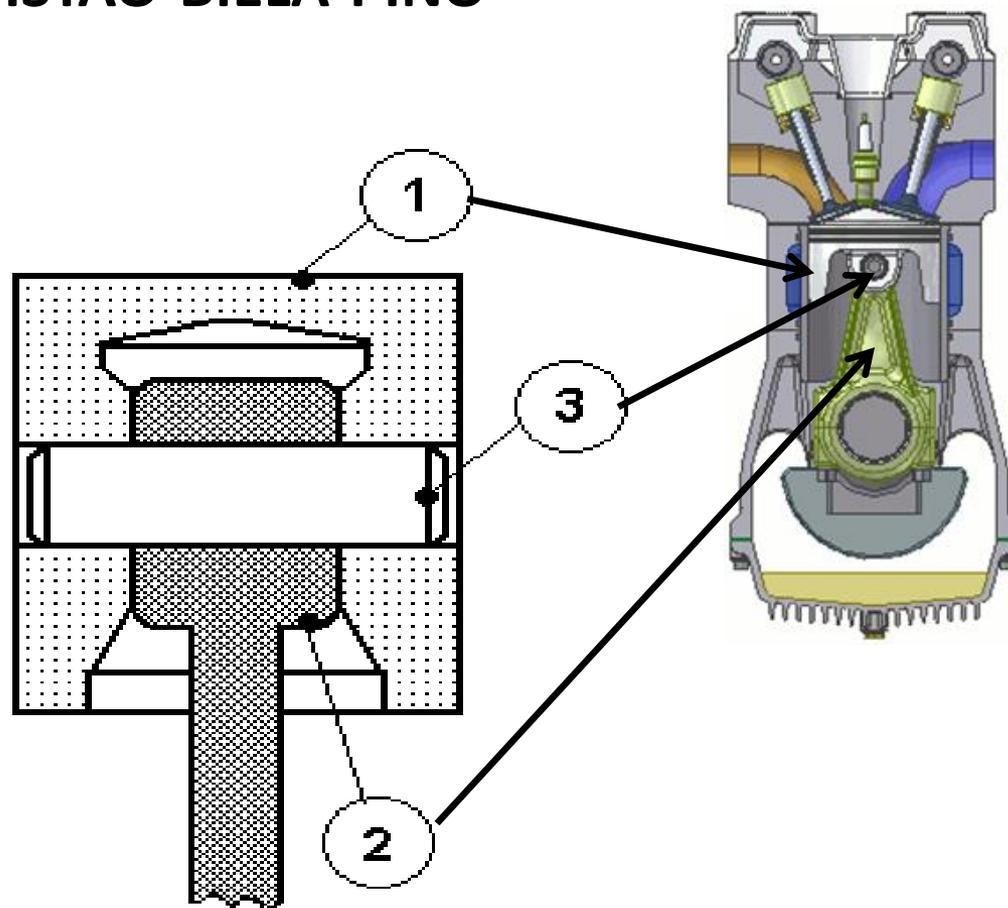
- Exemplo de ajuste entre componentes mecânicos

## CONJUNTO PISTÃO-BIELA-PINO

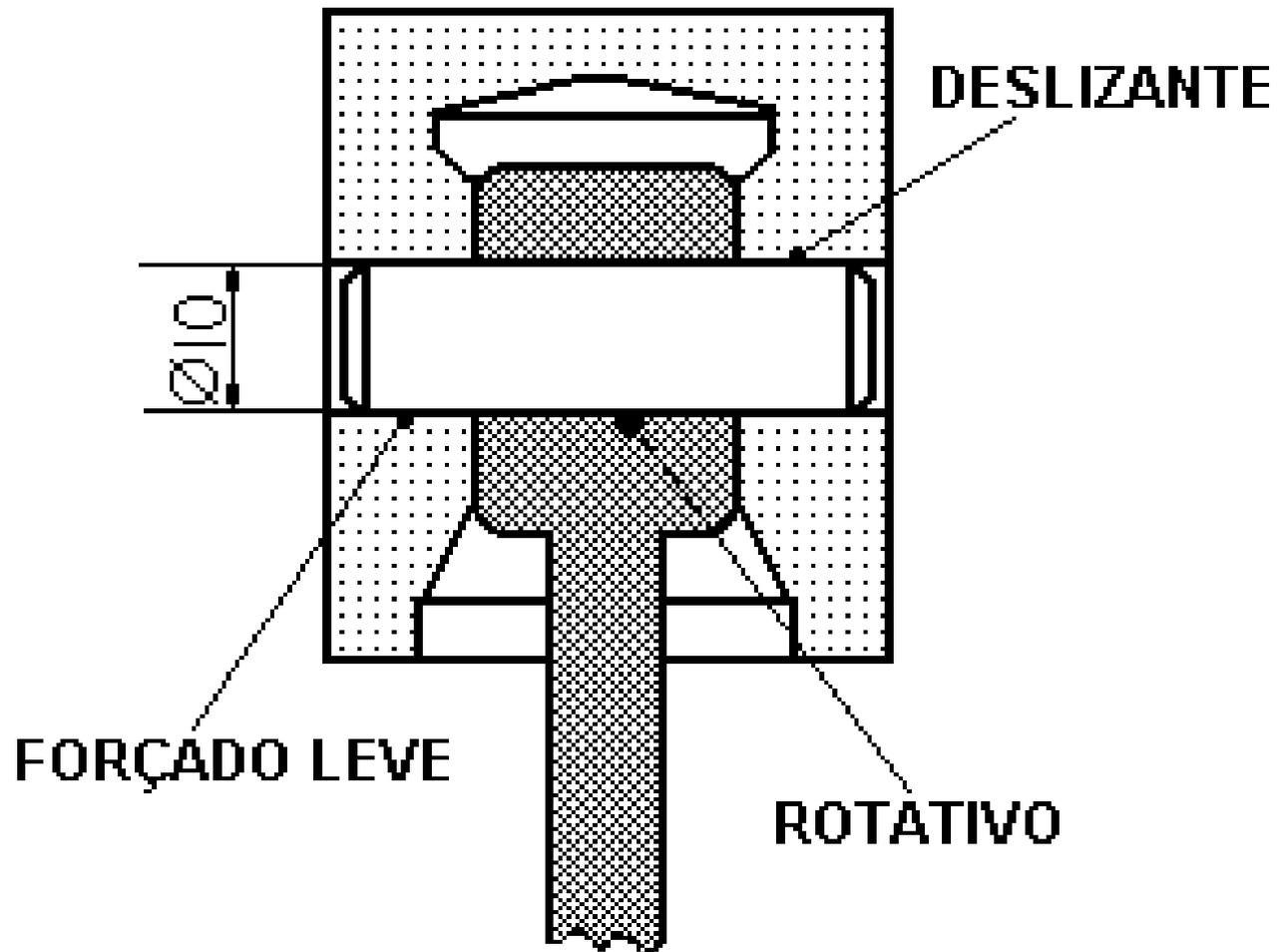
1- PISTÃO

2 – BIELA

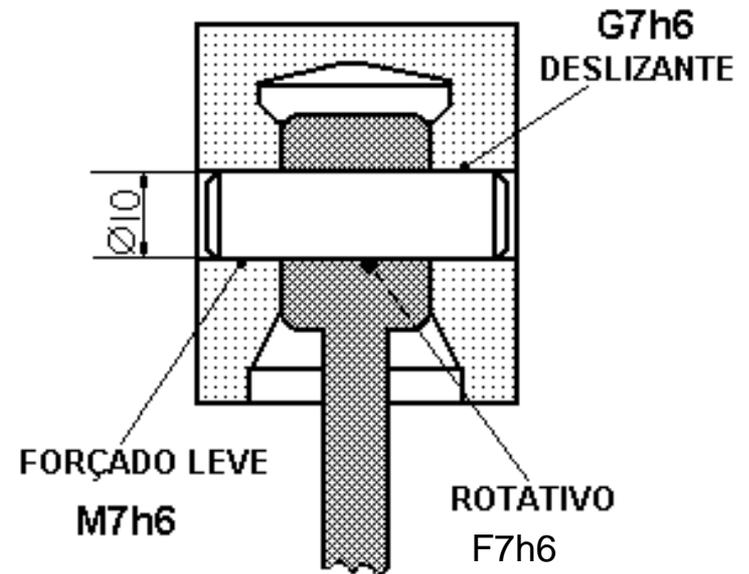
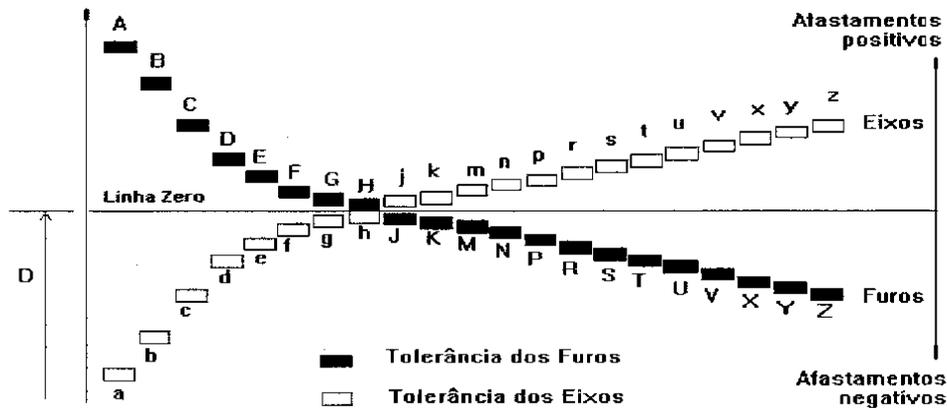
3 - PINO



- QUE TIPO(S) DE AJUSTE ESCOLHER?



- COMO ESPECIFICAR O AJUSTE?  
FURO-BASE OU EIXO-BASE?



## 7. REFERÊNCIAS

Niemann, G. **Elementos de Máquinas**, vol1, Edgard Blücher Ltda, 1971.

Agostinho, O.L. **Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões**, Edgard Blücher Ltda, 1977.

[www.infometro.hpg.ig.com.br](http://www.infometro.hpg.ig.com.br)