



Departamento
de Engenharia
de Produção

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



SEP 0285 – Práticas em processos de produção

Qualidade IT por processo de fabricação

Prof. Eraldo Jannone da Silva

2.2 Tolerâncias fundamentais

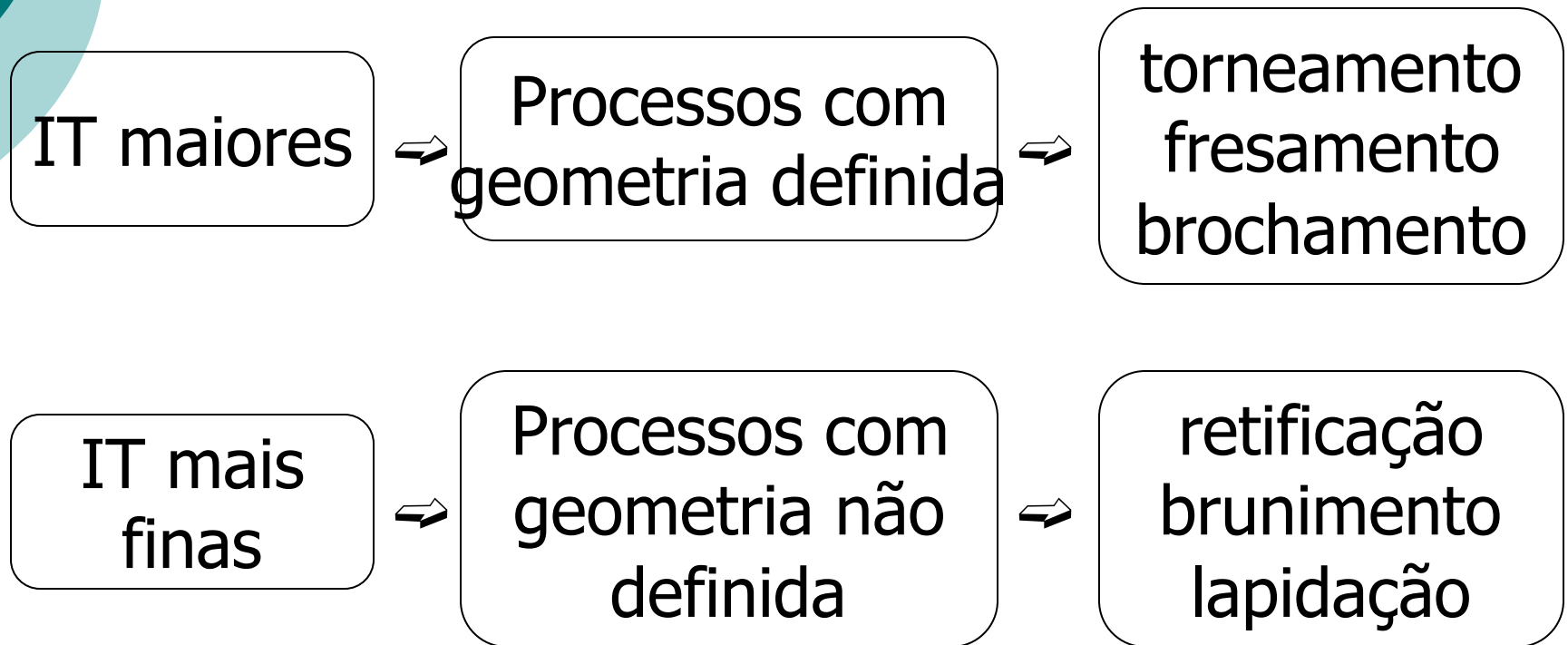
- Tolerâncias fundamentais (μm)

TOLERÂNCIAS FUNDAMENTAIS

Grupo de dimensões mm	QUALIDADE (IT)																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
até 1	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	—	—	—	—	—
> 1 ≤ 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
> 3 ≤ 6	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
> 6 ≤ 10	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
> 10 ≤ 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
> 18 ≤ 30	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
> 30 ≤ 50	0,6	1,0	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
> 50 ≤ 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
> 80 ≤ 120	1,0	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
> 120 ≤ 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
> 180 ≤ 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
> 250 ≤ 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
> 315 ≤ 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
> 400 ≤ 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

2.2 Tolerâncias fundamentais

- Classe IT *versus* processos de fabricação



2.2 Tolerâncias fundamentais

- Classe IT *versus* processos de fabricação

Processos	Toler. Dimensionais		Rugosidade Ra (m)		
	Usual (mm)	Usual IT	Max	Usual	Min
fundição (areia)	±0,6 a ±6	14-16	50	25	12.5
laminação a quente		14-16	50	25	12.5
laminação a frio		10-14	6,3	3,2-1,6	0,8-0,4
extrusão (metálica)		10-13	12,5-6,3	3,2-1,6	0,8
forjamento		13-16	25	12,5-6,3	3,2

2.2 Tolerâncias fundamentais

- Classe IT *versus* processos de fabricação

Processos	Toler. Dimensionais		Rugosidade Ra (m)		
	Usual (mm)	Usual IT	Max	Usual	Min
Retificação (cilíndrica)	+0, -0,013	4-7	6,3-3,2	1,6-0,2	0,1-0,05
retificação (plana)	+0, -0,021	5-9	6,3-3,2	1,6-0,2	0,1-0,05
brunimento		4-7			
lapidação		3-5	0,8	0,4-0,1	0,05-0,025

3-5

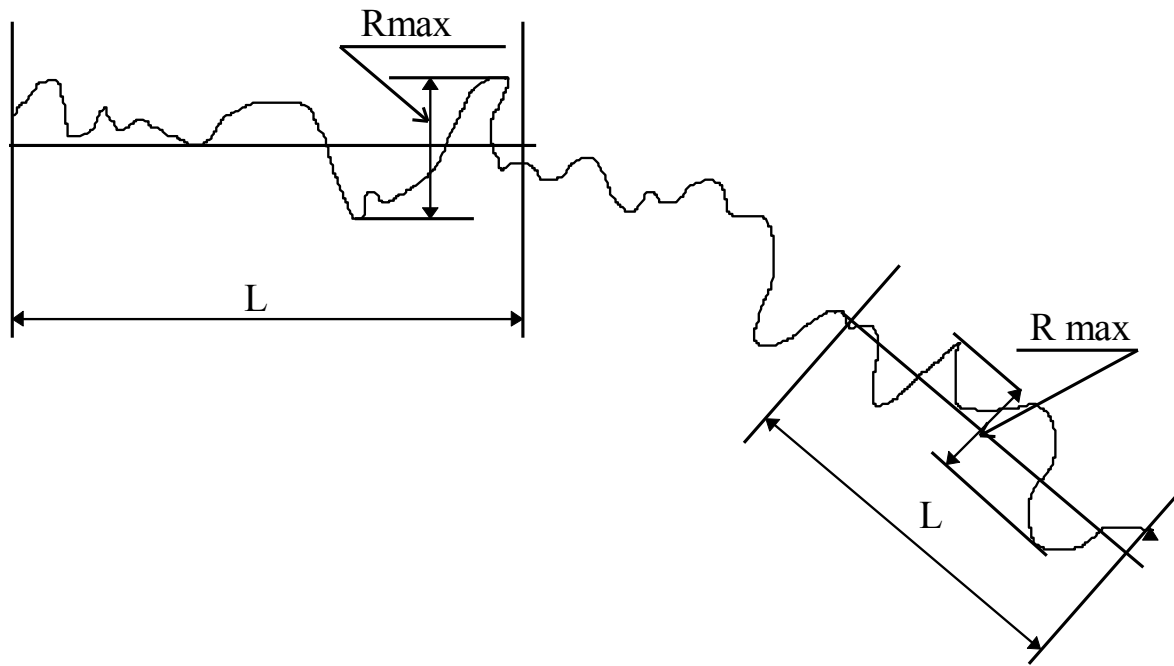
2.2 Tolerâncias fundamentais

○ Classe IT *versus* processos de fabricação

Processos	Toler. Dimensionais		Rugosidade Ra (m)		
	Usual (mm)	Usual IT	Max	Usual	Min
torneamento	±0,025	6-12	25-12,5	6,3-0,8	0,4-0,2
roscamento					
fresamento	±0,05	9-13	25-12,5	6,3-1,6	0,8-0,4
corte de engrenagens					
aplainamento	±0,13	10-14	25	12,5-3,2	1,6
mandrilamento			25-12,5	6,3-0,8	0,4-0,2
furação	+0,15, -0,025	11-14	25-12,5	6,3-3,2	1,6
alargamento		5-9	6,3	3,2-1,6	0,8
brochamento	±0,025	5-9	6,3	3,2-1,6	0,8

2.2 Tolerâncias fundamentais

- Relação prática entre R_{max} e qualidade IT:
- Altura máxima das irregularidades (R_{max}):
 - Distância entre duas linhas paralelas à linha média e que tangência a saliência mais pronunciada e a reentrância mais profunda, num comprimento de amostragem.



2.2 Tolerâncias fundamentais

- Relação prática entre $R_{\text{máx}}$ e qualidade IT

Dimensão nominal (mm)	Valores máximos permissíveis para $R_{\text{máx}}$ (μm)												
	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
1-6	1	1,6	2,5	4	6,3	10	16	25	40	63	100		
6-18	1,6	2,5	4	6,3	10	16	25	40	63	100	160		
18-80	2,5	4	6,3	10	16	25	40	63	100	160			
80-250	4	6,3	10	16	25	40	63	100	160				
250-500	6,3	10	16	25	40	63	100	160					
500-800													
800-1600			25	40	63	100	160			250			
1600-3150			40	63	100	160							
3150-6300			63	100	160								
6300-10.000			100	160									

$R_{\text{máx}}$ e qualidade IT

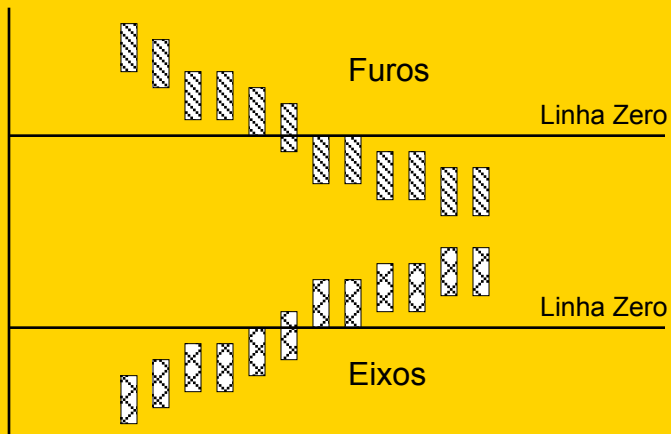
2.3 Posições de tolerância

Tolerâncias Fundamentais

	<i>IT</i>
	<i>ym</i>

Grupo de dimensões x Qualidade (IT)

Campos de Tolerância



Evita-se cálculo para cada dimensão

Classes de Ajuste

Com folga
Incerto
Com interferência

Famílias de Ajustes Recomendados

Sistema de Ajuste

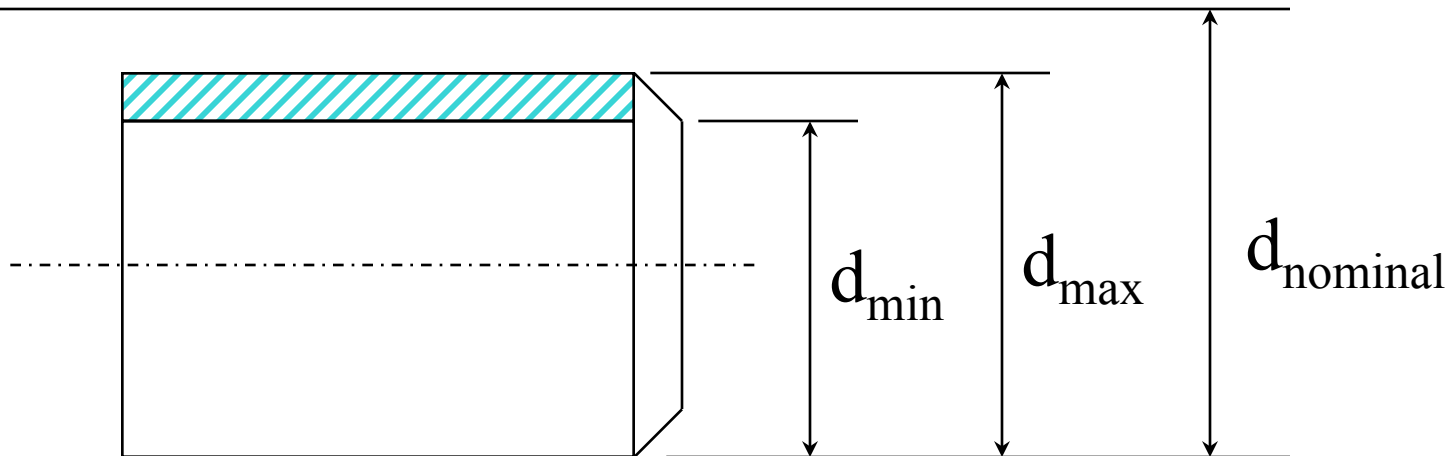
Eixo-Base
x
Furo-Base

Tabelas de Ajustes Recomendados

2.3 Posições de tolerância

- Zonas toleradas para medidas exteriores (eixos) e medidas interiores (furos)
- **Campos de tolerância**
 - Posicionamento das tolerâncias em relação a linha zero ou a dimensão nominal

Linha zero



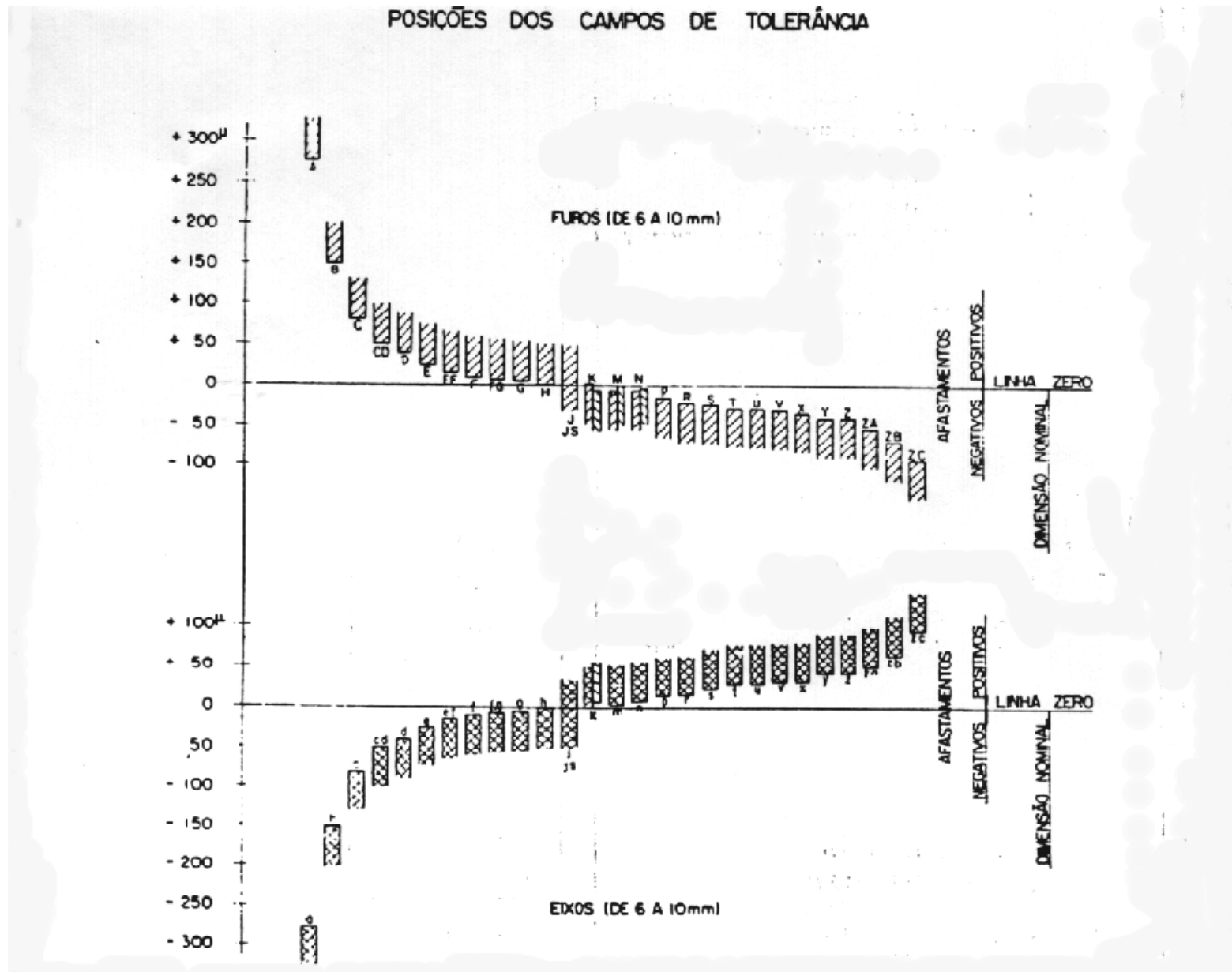
Furos \Rightarrow letras maiúsculas ;

Eixos \Rightarrow letras minúsculas.

2.3 Posições de tolerância

- Posição das zonas toleradas – representação gráfica
- Eixos: a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, j, js, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb e zc.
- Furos: A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, J, JS, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB e ZC._

2.3 Posições de tolerância



2.3 Posições de tolerância

- Posição das zonas toleradas – representação simbólica
- Exemplo: H7 H = campo de tolerância
 7 = tolerância IT
- Representação do acoplamento do furo H7 com o eixo m6

H7

H7-m6

H7/m6

m6

2.3 Posições de tolerância

○ Sistemas furo-base e eixo-base NB 86

- **Furo base:** a linha zero constitui o limite inferior da tolerância do furo.
- O ajuste é conseguido pela variação das dimensões do eixo.
- Normalmente adotado para todos os acoplamentos entre eixos, polias, engrenagens:
- Motivo: mais fácil usinar uma dimensão externa que interna

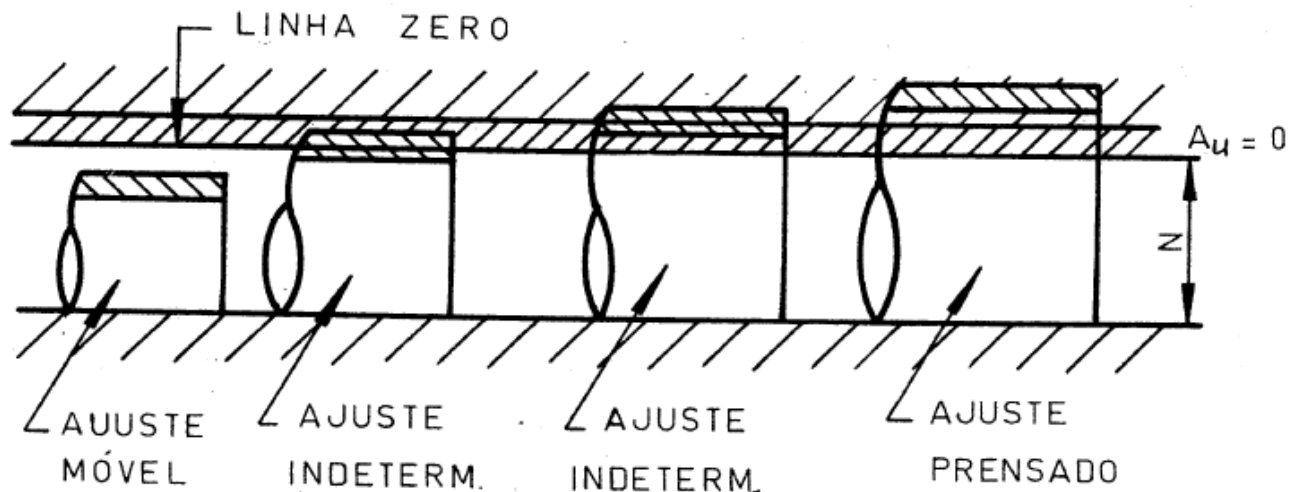


Figura 2.15 Sistema furo-base

2.3 Posições de tolerância

○ Sistemas furo-base e eixo-base NB 86

- **Eixo base:** a linha zero constitui o limite superior da tolerância do eixo.
- O ajuste é conseguido pela variação das dimensões do furo.
- Normalmente adotado: ajuste de capa externa de rolamentos com carcaças;
- Ajuste entre bucha pré-usinada (comprada pronta) com furo de polia

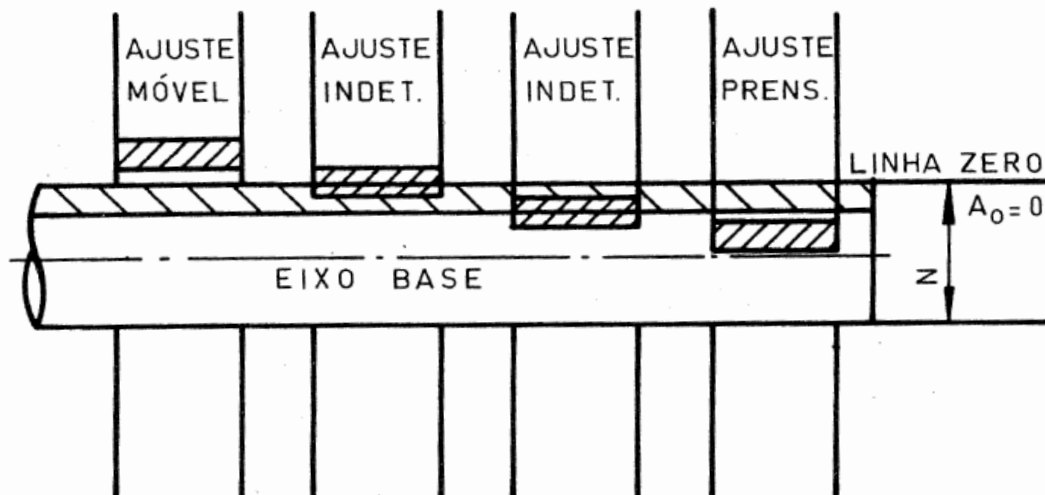


Figura 2.16 Sistema eixo-base

2.3 Posições de tolerância

- Sistemas furo-base e eixo-base NB 86: escolha do sistema de ajuste:
 - Preferência pela escolha do sistema furo-base
 - Opção pelo eixo-base: situações onde resulte em uma vantagem econômica (caso de eixos trefilados ou retificados)

2.3 Posições de tolerância

- Sistemas furo-base e eixo-base NB 86: afastamentos de referência:

TABELA 6
VALORES DOS AFASTAMENTOS DE REFERÊNCIA PARA EIXOS (1)

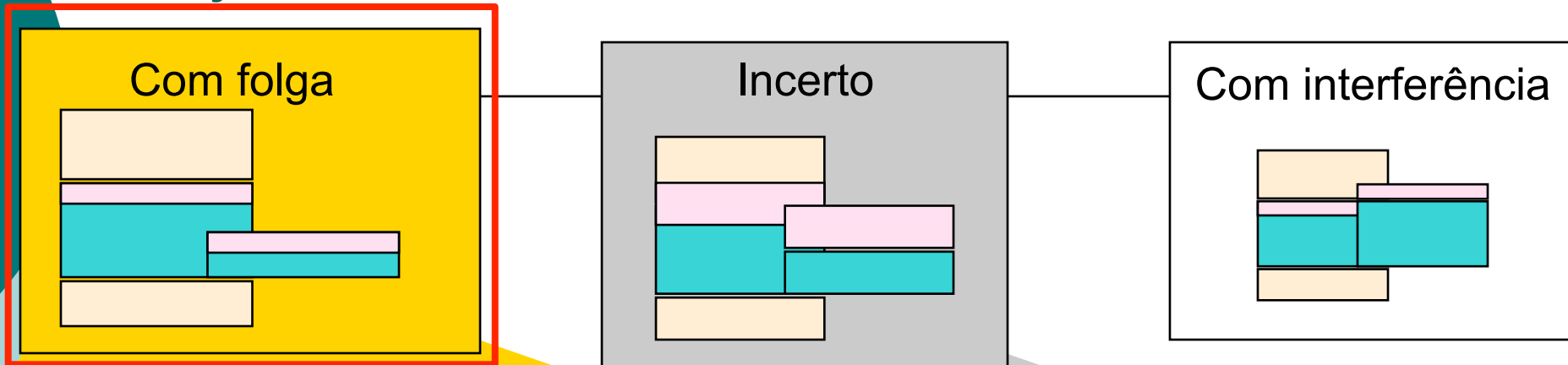
Para os eixos a até h o afastamento de referência é o afastamento superior. Para os eixos j até zc é o afastamento inferior

GRUPO DE DIMENSÕES mm	P O S I Ç Ã O E S																														
	a	b	c	cd	d	e	ef	f	Ig	g	h	j	k	l	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc			
0 a 1	-	-	-	-34	-30	-14	-10	-6	-4	-2	0	-3	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60	
> 1 ≤ 3	-270	-140	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-3	-4	-	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80	
> 3 ≤ 6	-	-	-70	-45	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-3	-5	-	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97	
> 6 ≤ 10	-200	-150	-90	-55	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-3	-6	-	+1	0	+7	+12	+18	+23	+29	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130	
> 10 ≤ 14	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-15	-	-6	0	-	-	-	+1	0	+7	+12	+18	+23	+29	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130	
> 14 ≤ 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 18 ≤ 24	-380	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0	-4	-8	-	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+47	+54	+63	+73	+88	+108	+158	
> 24 ≤ 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 30 ≤ 40	-310	-170	-130	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0	-5	-10	-	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	-	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
> 40 ≤ 50	-320	-180	-130	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 50 ≤ 65	-340	-190	-140	-	-100	-60	-	-30	-	-10	0	-7	-12	-	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405	
> 65 ≤ 80	-300	-200	-150	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 80 ≤ 100	-390	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0	-9	-15	-	+3	0	+13	+23	+37	+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+488	
> 100 ≤ 120	-410	-240	-180	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 120 ≤ 140	-450	-260	-200	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 140 ≤ 160	-520	-280	-210	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0	-11	-18	-	+3	0	+15	+27	+43	+54	+70	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+698	
> 160 ≤ 180	-590	-310	-230	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 180 ≤ 200	-690	-340	-240	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 200 ≤ 225	-740	-360	-260	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0	-13	-21	-	+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+238	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150	
> 225 ≤ 250	-820	-420	-290	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 250 ≤ 280	-920	-480	-300	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0	-16	-26	-	+4	0	+20	+34	+56	+84	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550	
> 280 ≤ 315	-1050	-540	-330	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 315 ≤ 355	-1200	-600	-360	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0	-18	-28	-	+4	0	+21	+37	+62	+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700	
> 355 ≤ 400	-1350	-690	-400	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
> 400 ≤ 450	-1500	-780	-440	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-	+5	0	+23	+40	+68	+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100	
> 450 ≤ 500	-1850	-840	-480	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

1) Para os afastamentos inferiores dos furos de A até H os valores numéricos são iguais aos afastamentos superiores dos símbolos correspondentes porém com sinal positivo. Para os furos de J a ZC, ver na Tabela 7.

Tabela 6 - Valores de afastamentos de referência

2.3 Posições de tolerância – classes de ajustes



Grandes Jogos

Mínima Perda por Atrito

Máxima Perda de Carga

Guias Precisas

Tendendo à Folga

Tendendo à Interf.

Longitudinal Transversal

eixo-base (h)

A B C

D E F

G H

J K

M N

P R S T U V X

furo-base(H)

a b c

d e f

g h

j k

m n

p q r s t u v x z

2.3 Posições de tolerância – classes de ajustes – ajustes com folga

Critérios	Valor	Eixo base: h			
		E	F	G	H
Precisão de locação do eixo	maior	→			
Capacidade de carga (mancal)	maior	→			
Suavidade de marcha	maior	→			
Temperatura de funcionamento	grande	←			
Condições de lubrificação	pior	←			
Velocidade relativa	grande	←			
Perdas por atrito	para diminuir	←			
Tipo de carregamento	rotativo	→			



**Bom
Senso!**

Qualidade : nobre, fino, liso, grosso, muito grosso

2.3 Posições de tolerância – classes de ajustes – ajustes com folga

Grandes Jogos

- Máquinas de alta velocidade
- Máquinas com grandes diferenças de temperatura
- Máquinas sem precisão
- Ajustes em peças que não giram

Mínimas Perdas por Atrito

- cubos móveis
- mancais hidrodinâmicos

Características Desejáveis no Mancal

Cálculo

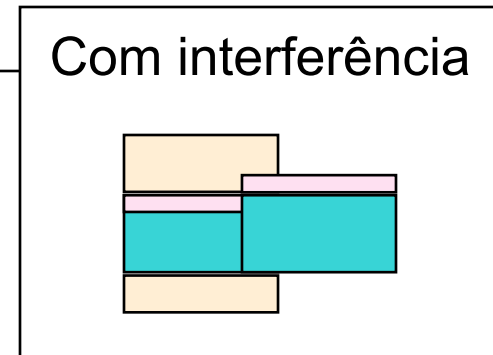
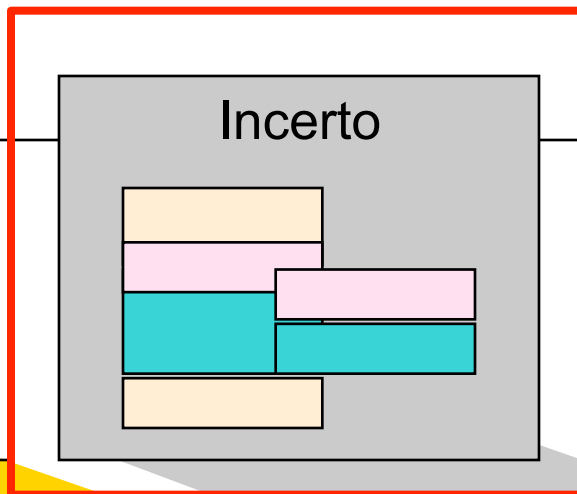
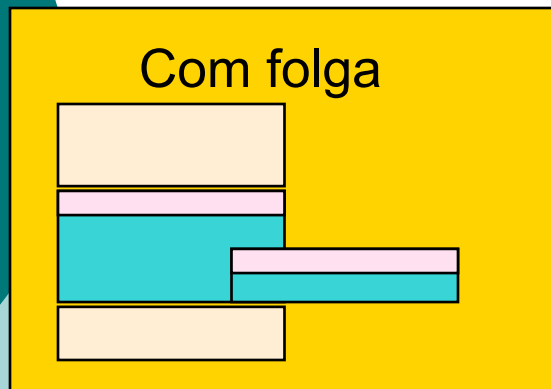
Folga de Projeto
=
Folga Máxima

Seleção de Campos

Guias Precisas

- Par eixo-cubo com chaveta ou estria
- Rolamentos com carga fixa e baixo carregamento
- Pinos transmissores de momento
- Pinos de guia₂₀

2.3 Posições de tolerância – classes de ajustes



Grandes Jogos

Mínima Perda por Atrito

Máxima Perda de Carga

Guias Precisas


Tendendo à Folga

Tendendo à Interf.

Longitudinal Transversal

eixo-base (h)	A B C	D E F	G H	J K	M N	PRSTUVX
furo-base(H)	a b c	d e f	g h	j k	m n	pqrstuvxz

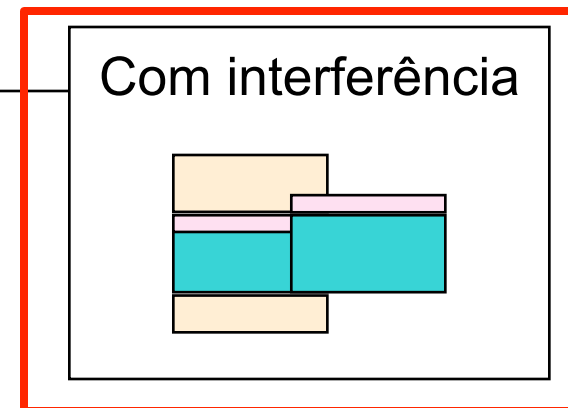
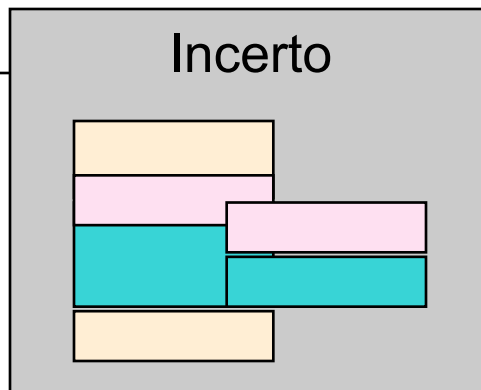
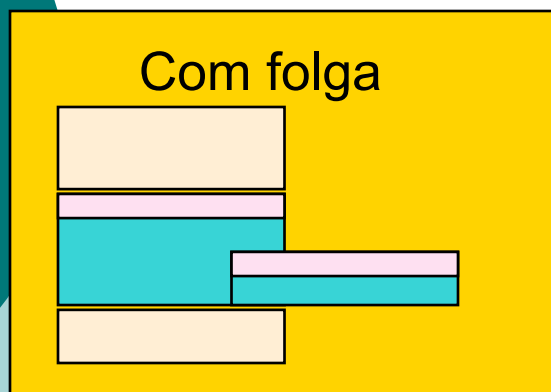
2.3 Posições de tolerância – classes de ajustes – ajustes incertos

Critérios	Valor	Eixo-base h	Aplicação
		J K M N	
Necessidade de retenção	grande	→	<ul style="list-style-type: none">•Necessidade de precisão de posicionamento•Não existe movimento entre as peças•ROLAMENTOS 
Facilidade de montagem	para aumentar	←	
Variação na temperatura	grande	←	
Rotação	elevada	→	
Tipo de carga	alta choque	→	
Freqüência de desmontagem	grande	←	
Tipos de carregamento	rotativo	→	

Sempre de grande precisão

Bom Senso

2.3 Posições de tolerância – classes de ajustes



Grandes Jogos

Mínima Perda por Atrito

Máxima Perda de Carga

Guias Precisas

Tendendo à Folga

Tendendo à Interf.

Longitudinal Transversal

eixo-base (h)

A B C

D E F

G H

J K

M N

P R S T U V X

furo-base(H)

a b c

d e f

g h

j k

m n

p q r s t u v x z