



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Desenhos técnicos de fabricação, tolerâncias e acabamento superficial

2023.1

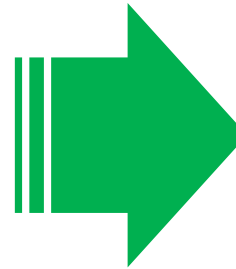
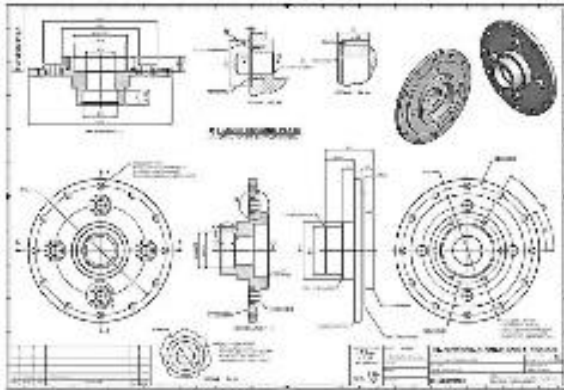


Como uma matéria prima vira uma peça?



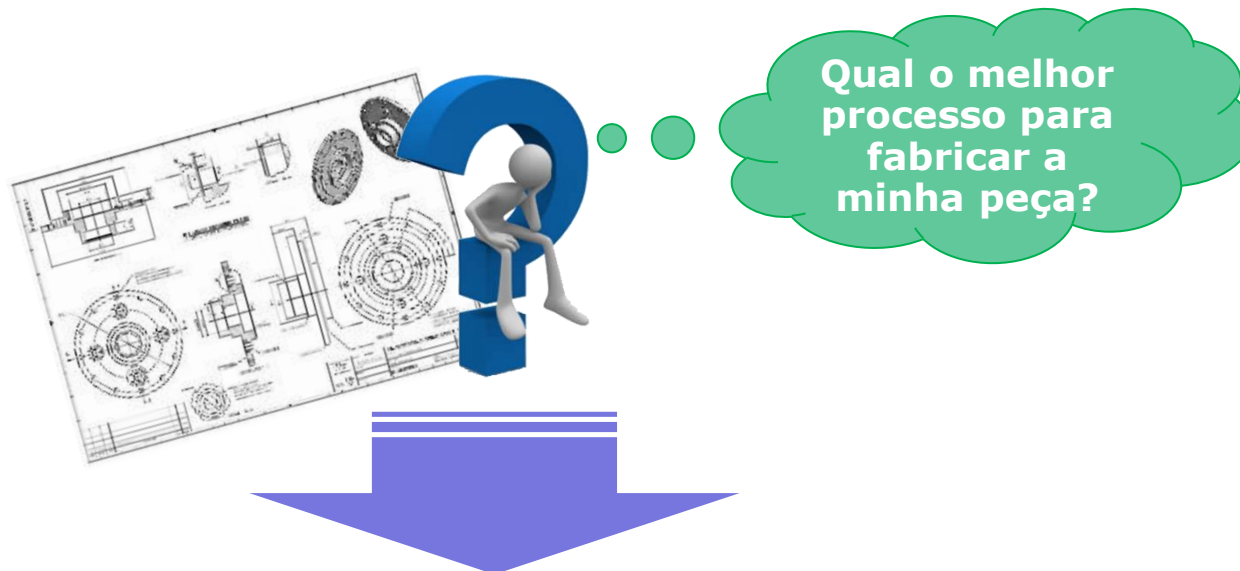


Como um desenho técnico vira uma peça?





Processos de fabricação

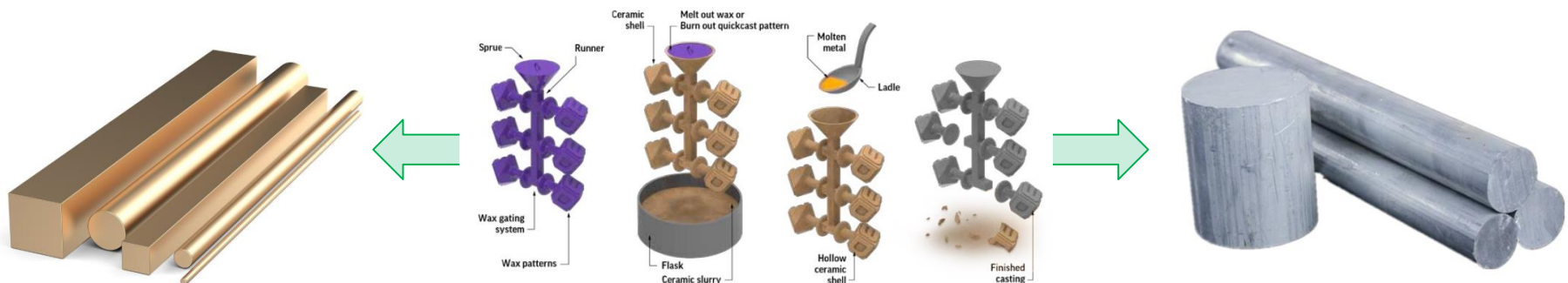
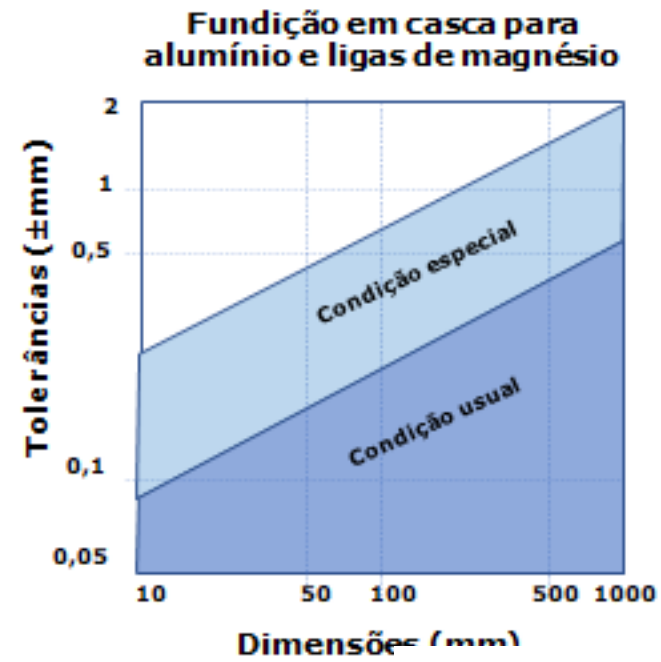
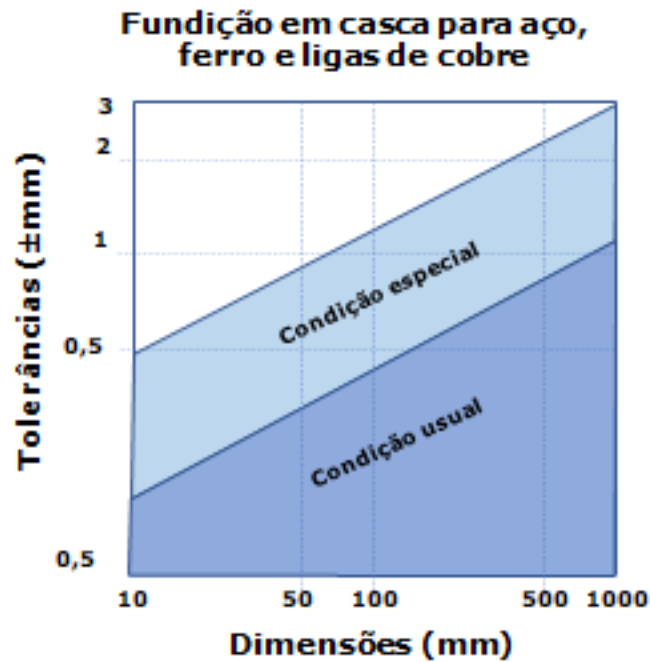


Processos de Fabricação						
1	2	3	4	5	6	7
Formas primárias	Formas conformadas (secundárias)	Usinagem	Uniãoes	revestimentos	alterações de propriedades dos materiais	Manufatura aditiva
						



Relação entre processos de fabricação e tolerâncias

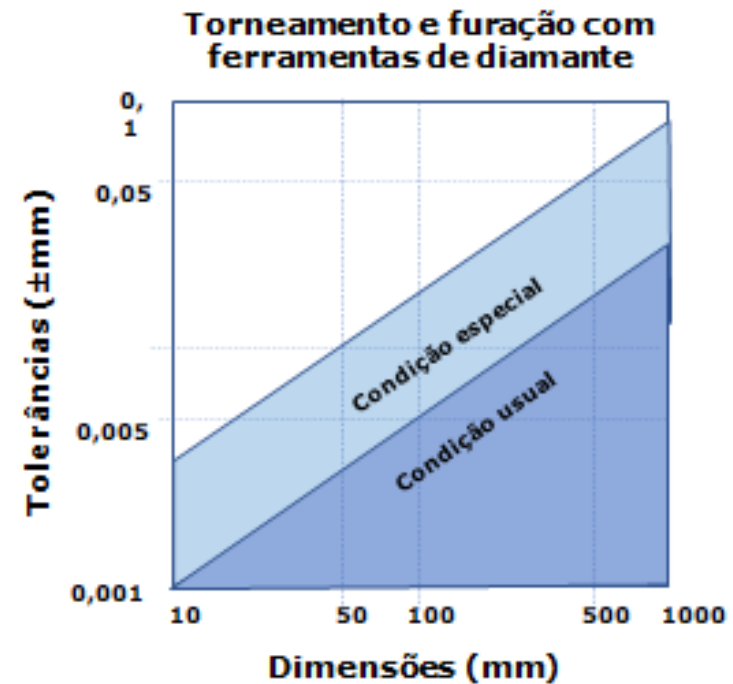
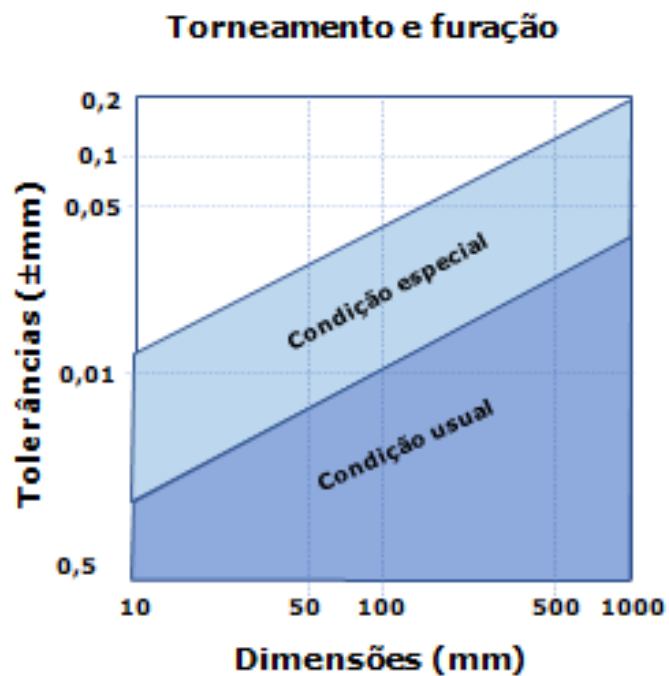
Mesmo processo com materiais diferentes





Relação entre processos de fabricação e tolerâncias

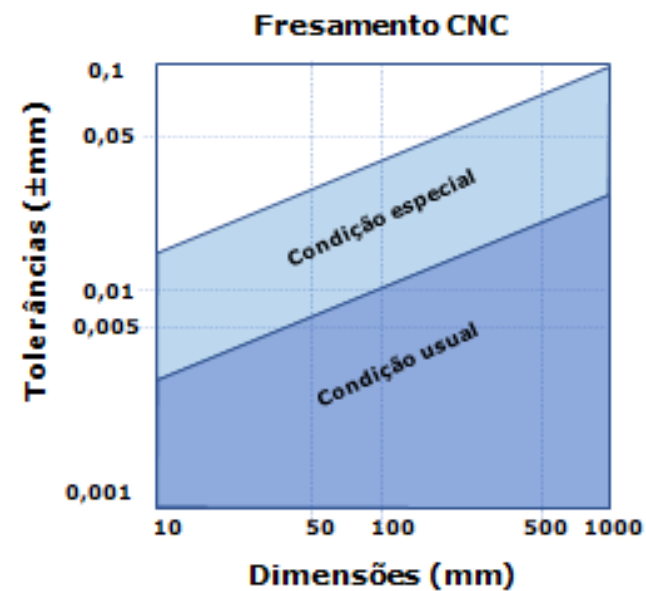
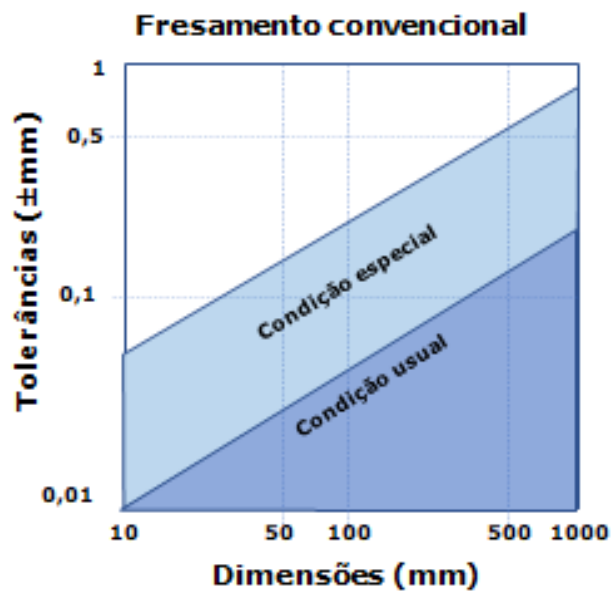
Mesmo processos com ferramentas diferentes





Relação entre processos de fabricação e tolerâncias

Mesmo processos com tecnologias diferentes





Relação entre processos de fabricação e acabamento superficial

Para cada grupo de dimensões (medidas nominais), tem-se 18 qualidades de trabalho, denominadas como *tolerâncias fundamentais*.

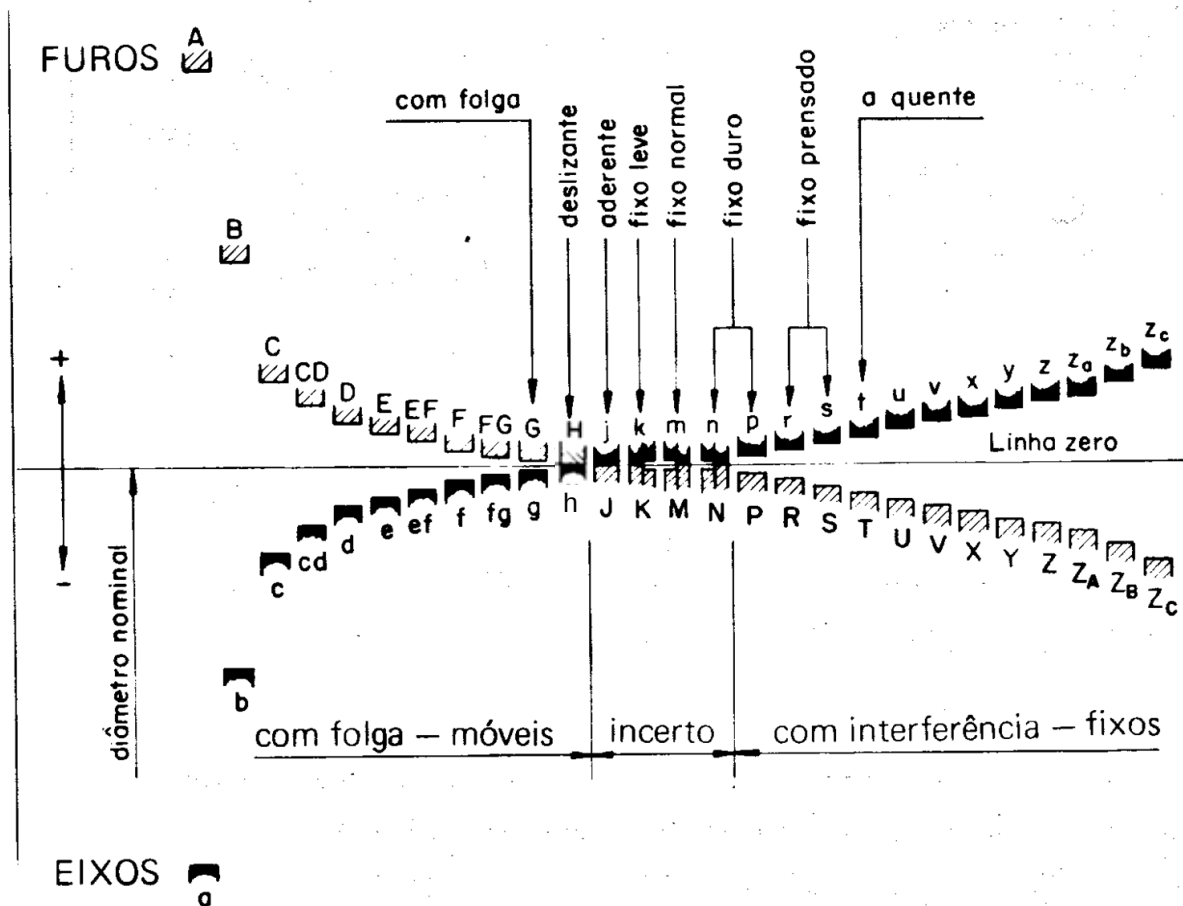


A cada uma das qualidades de trabalho corresponde um valor de tolerância.



Relação entre processos de fabricação e acabamento superficial

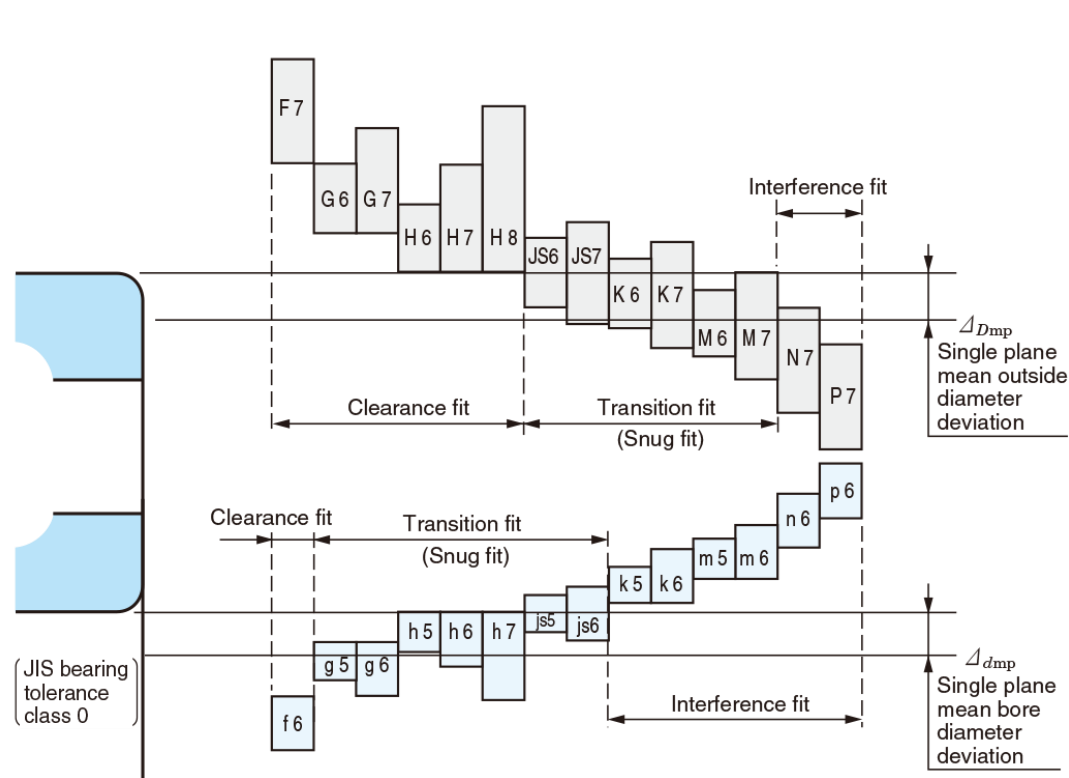
Posição de campo de tolerâncias.



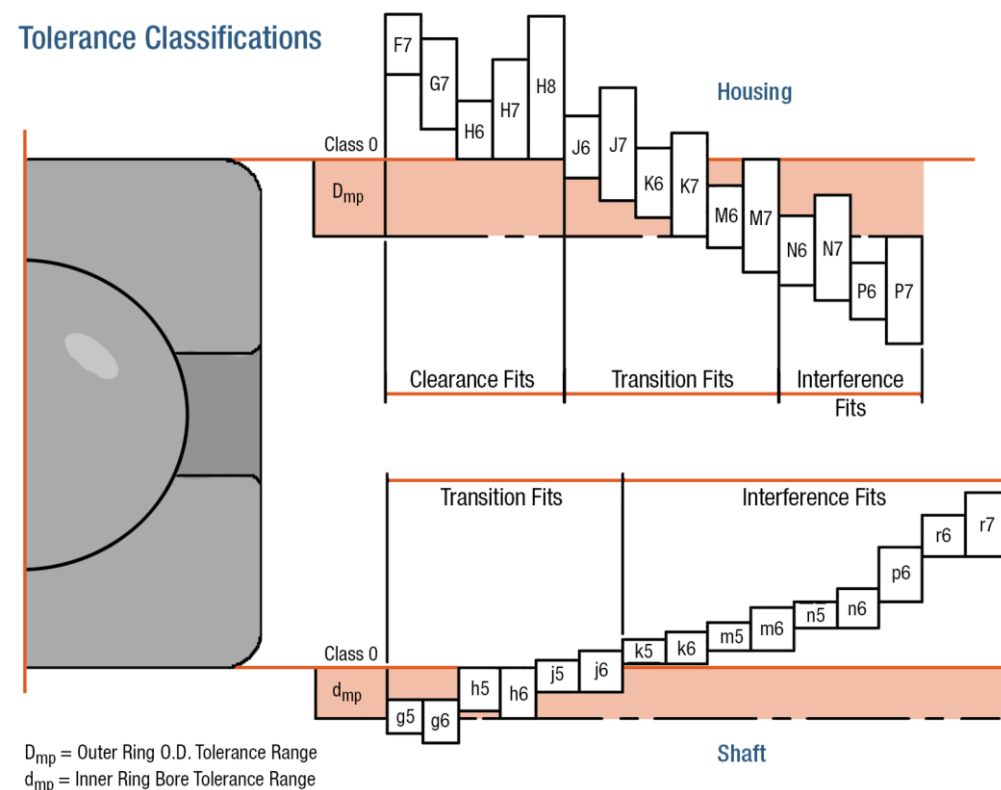


Relação ente processos de fabricação e acabamento superficial

Posição de campo de tolerâncias.

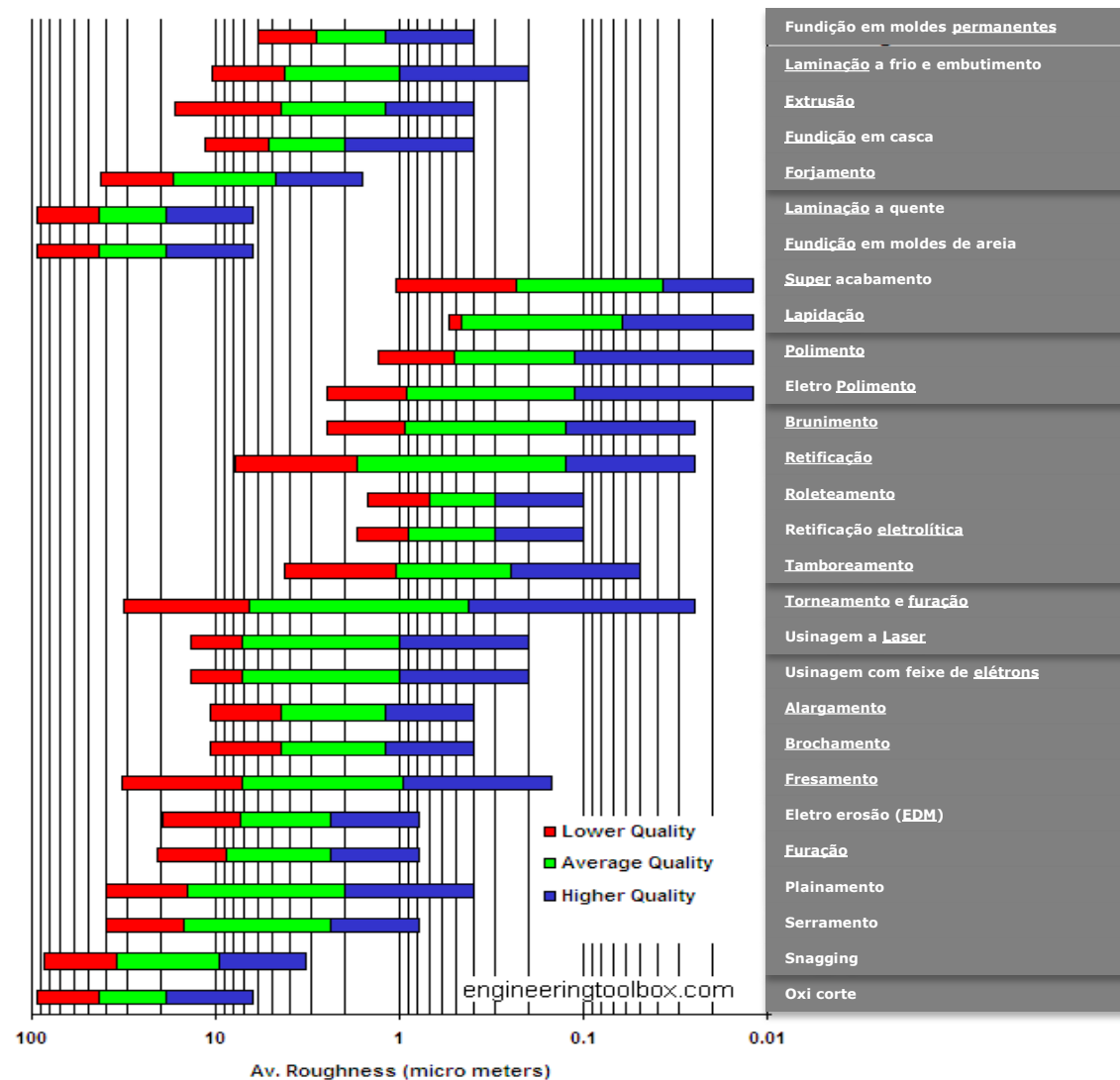


Tolerance Classifications





Relação ente processos de fabricação e acabamento superficial

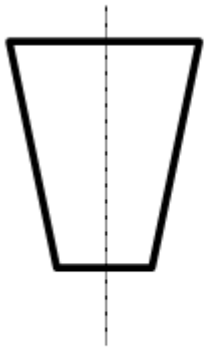




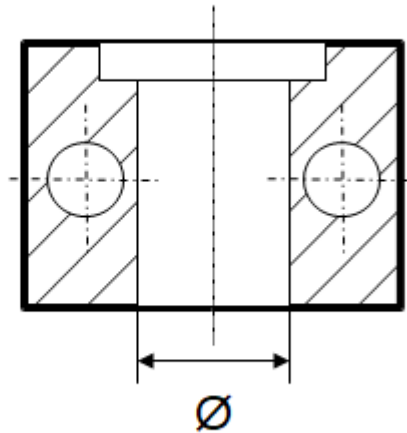
Análise dos desenhos de fabricação

Um desenho de fabricação contém informações relativas a:

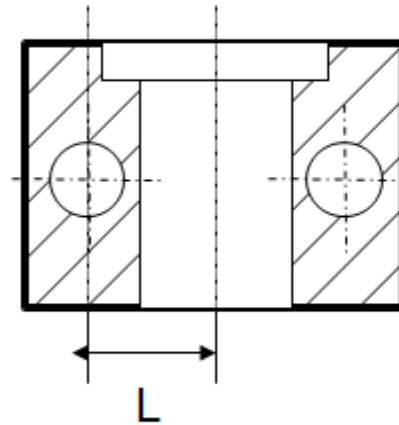
FORMA



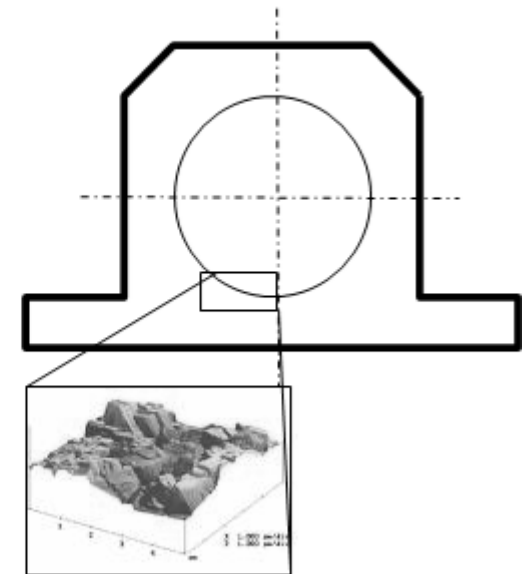
DIMENSÃO



POSIÇÃO



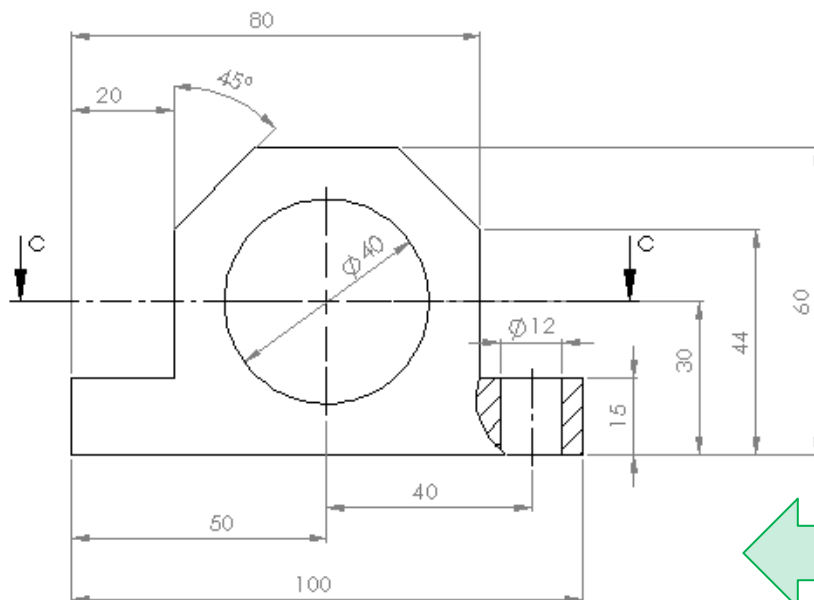
TEXTURA





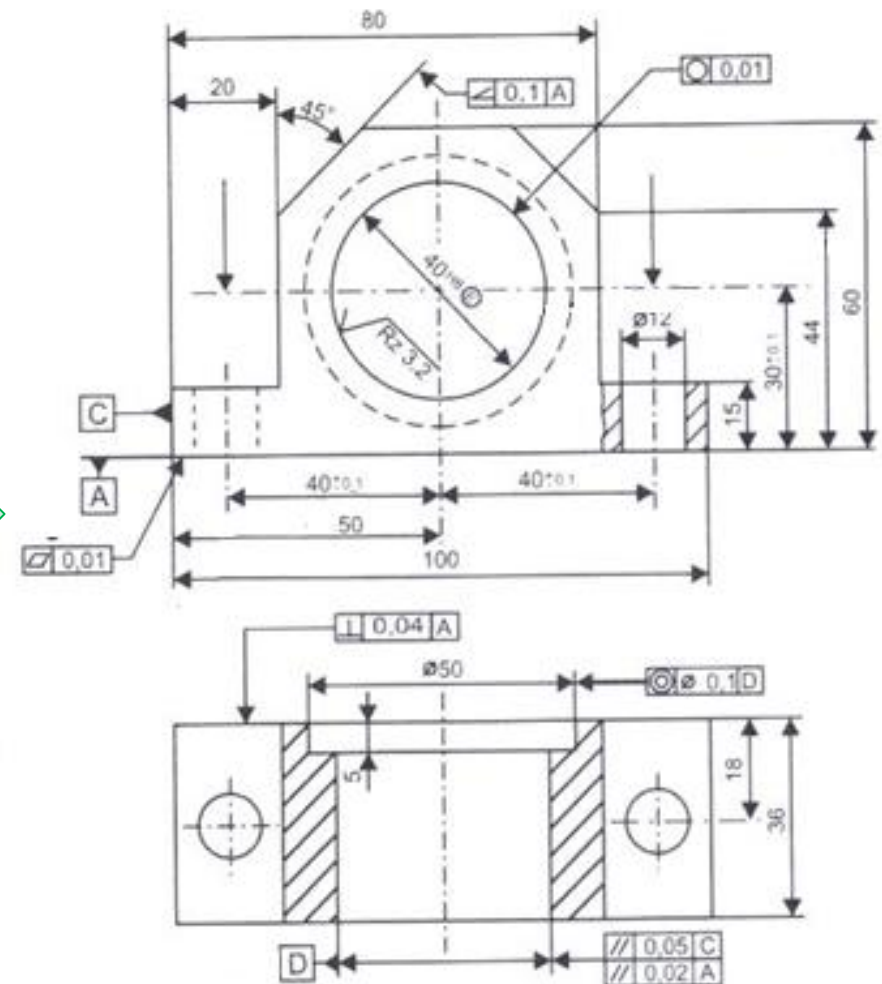
Desenho de Fabricação

Etapa 1: Definição das Dimensões



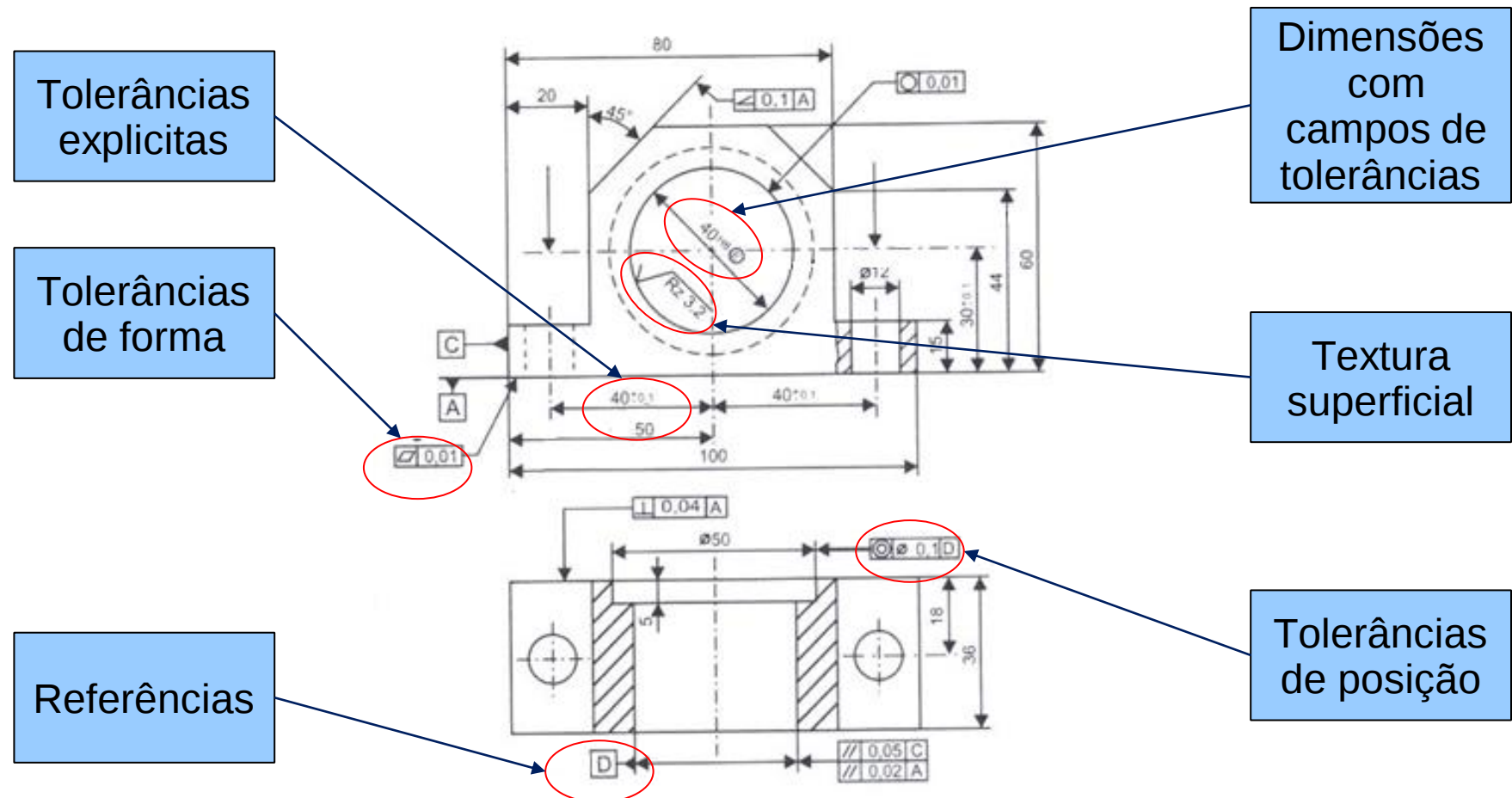
SEÇÃO C-C
ESCALA 1:1

Etapa 2: Definição das Tolerâncias





Um desenho de fabricação deve conter todas as informações e relações dimensionais e geométricas, suas devidas tolerâncias, além de informações relativas ao acabamento superficial e tratamento térmico.





Análise dos desenhos de fabricação

Tolerâncias dimensionais conforme norma DIN 7168, se não
houver especificação vale a norma

DESVIOS MÉDIOS ADMISSÍVEIS SEM TOLERÂNCIAS INDICADAS (DIN 7168-m)					
1	6	30	120	400	1000
a	a	a	a	a	a
6	30	120	400	1000	2000
$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$

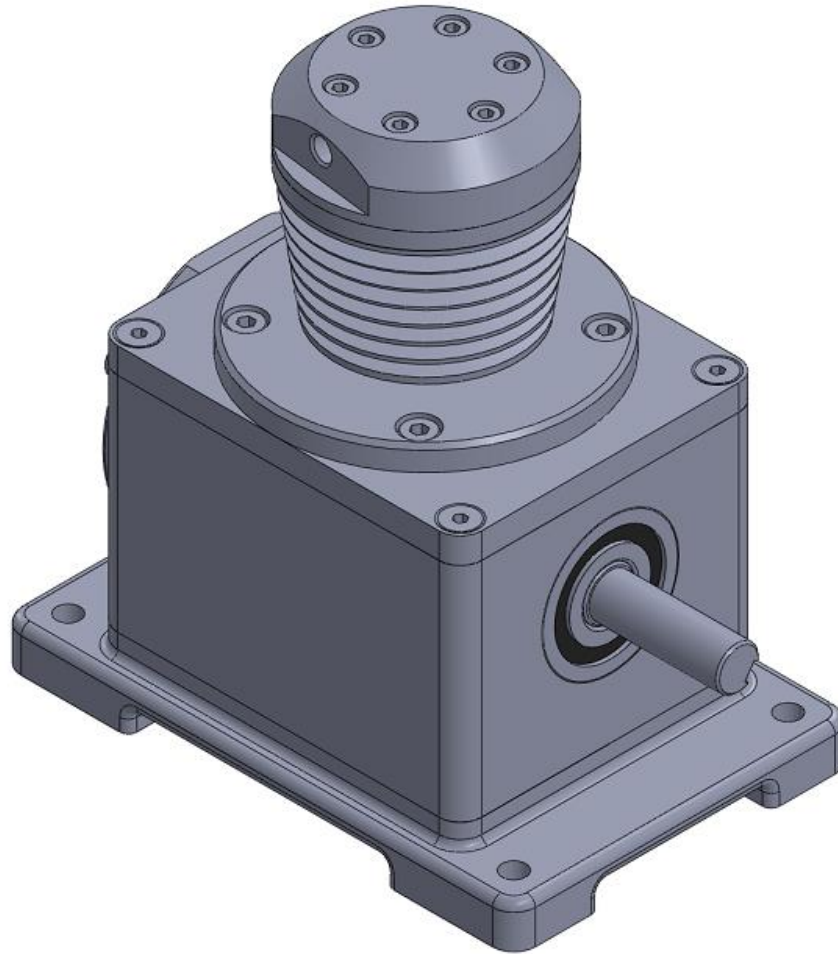


Tolerâncias geométricas mais comuns

	TIPO DE TOLERÂNCIA	CARACTERÍSTICA	SIMBOLO
FEATURES INDIVIDUAIS	FORMA	Linearidade	—
		Planeza	
		Circularidade	○
		Cilindricidade	
FEATURES RELATIVAS	PERFIL	Perfil de uma linha	⌒
		Perfil de uma superfície	D
FEATURES RELACIONADAS	ORIENTAÇÃO	Inclinação	
		Perpendicularismo	
		Paralelismo	
	BATI-MENTO	Batimento circular	
		Inclinação	
	LOCALIZAÇÃO	Posição	⊕
		Concentricidade	⊙
		Simetria	



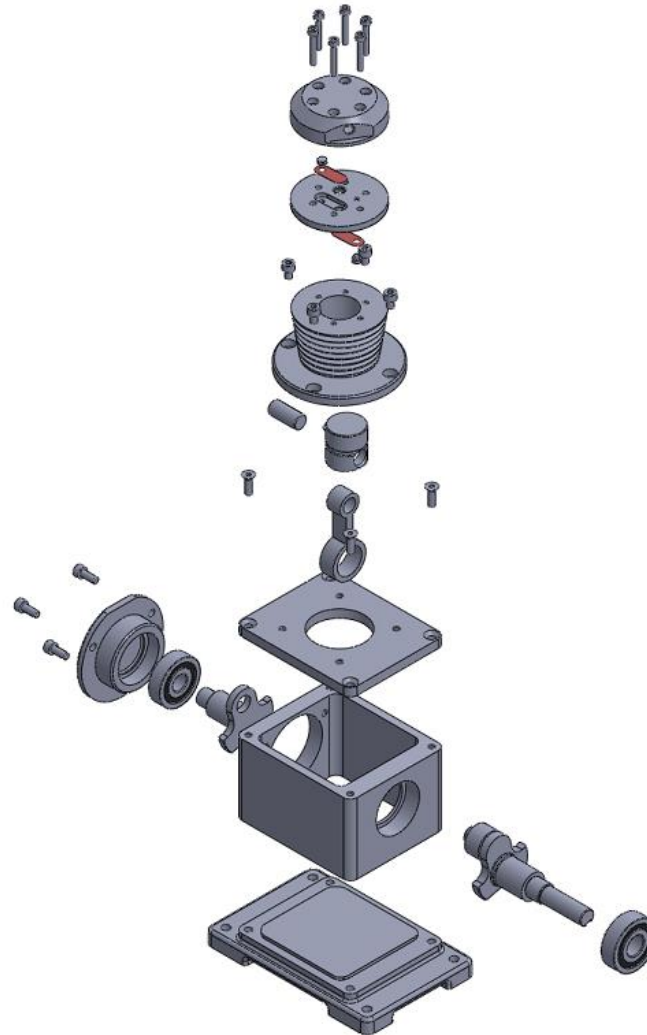
Exemplo compressor monocilíndrico



Desenho em perspectiva do compressor mono cilíndrico



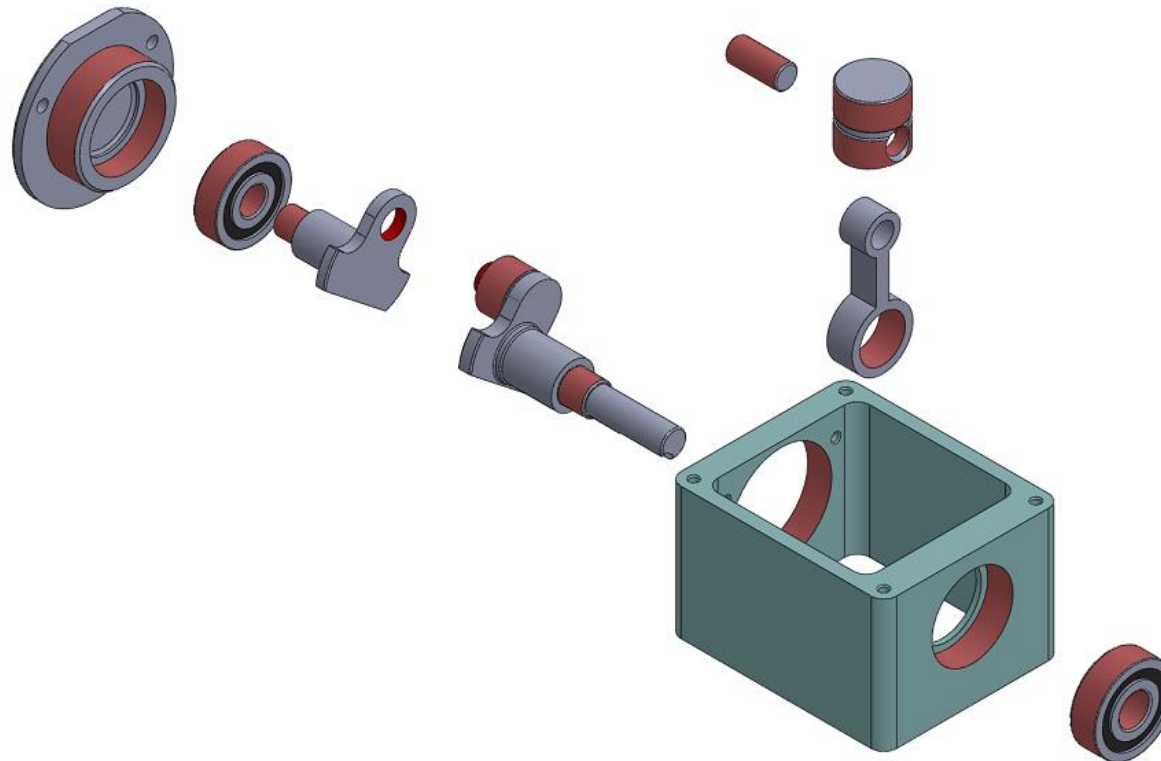
Exemplo do compressor monocilíndrico



Vista explodida do compressor mono cilíndrico



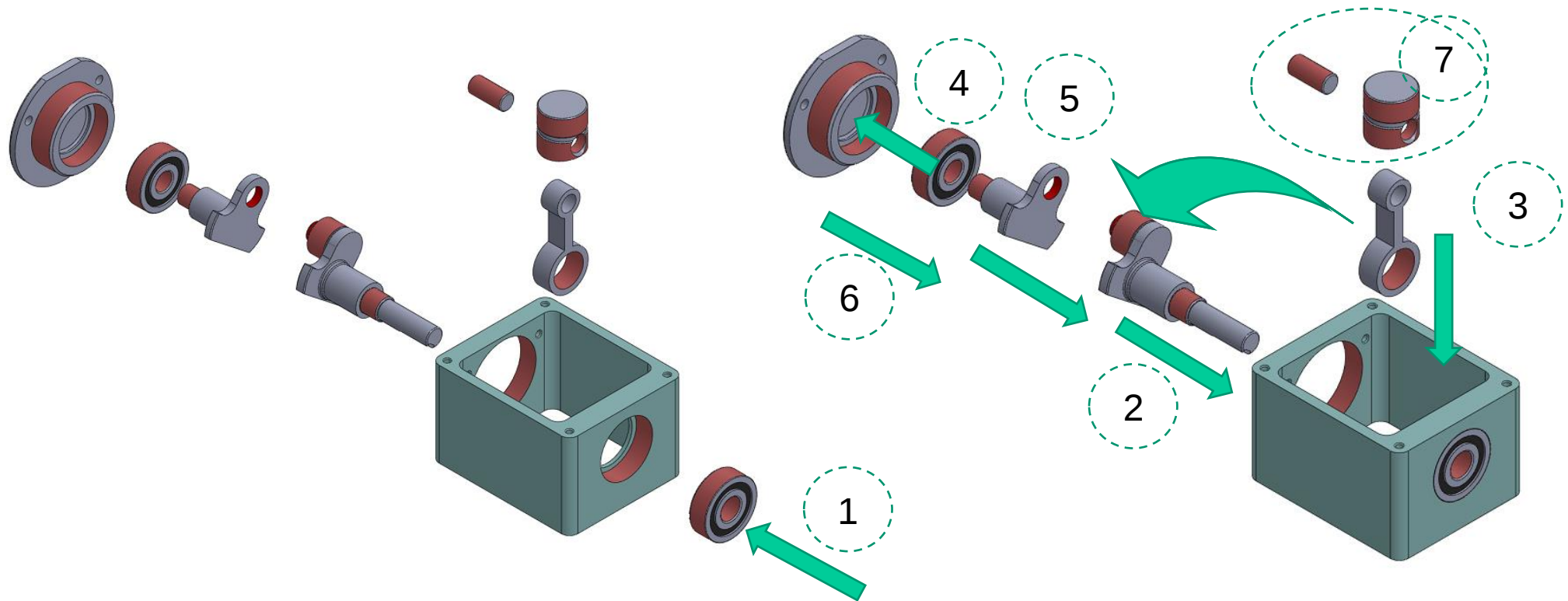
Exemplo de componentes onde as relações dimensionais, geométricas e superficiais são críticas



Montagem dos conjuntos eixo/mancais, eixo/biela, biela/pistão



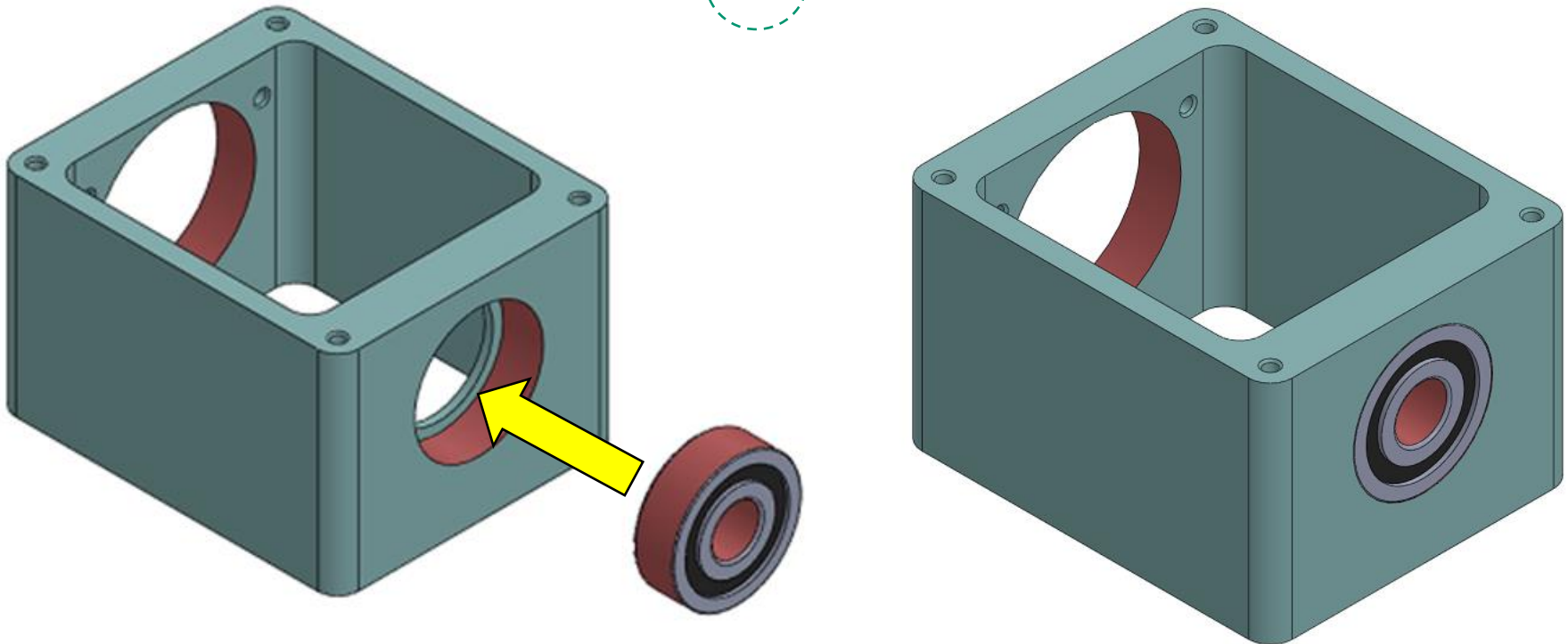
Sequência de montagem dos conjuntos





Sequência de montagem dos conjuntos

1



Montagem do rolamento esquerdo

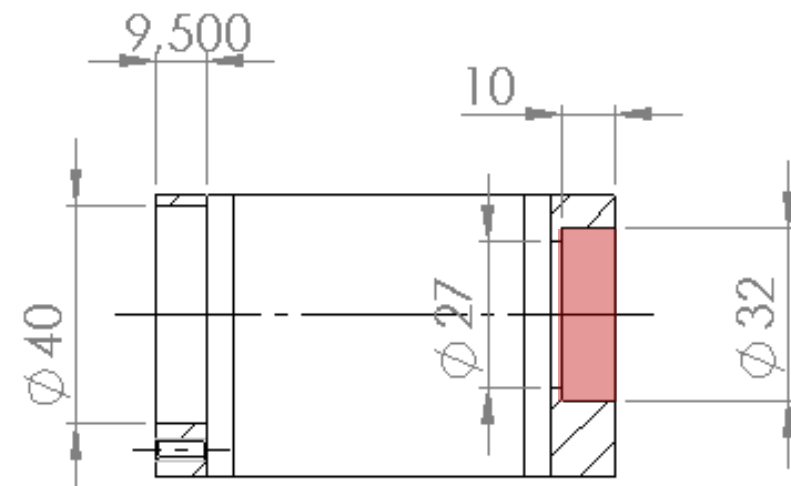
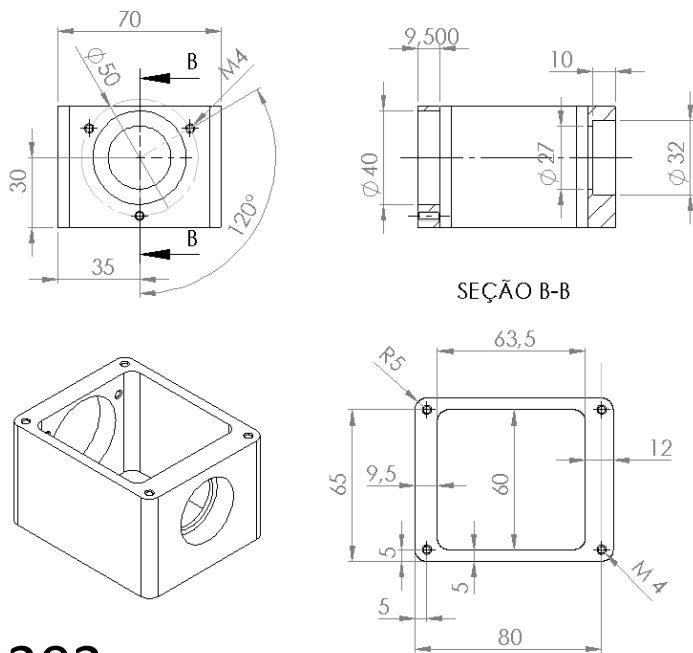


Montagem do rolamento esquerdo

O rolamento deve entrar sem folga na carcaça e a montagem deve ser feita com um mínimo esforço, no máximo com auxílio de um martelo de borracha. Pesquise:

- Qual deve ser a tolerância recomendada para o furo da carcaça ($\varnothing 32\text{mm}$)?
- Quais as tolerâncias padrão (normal) para o diâmetro externo de rolamentos?

<https://www.nsk.com/common/data/ctrGpdf/e1102m.pdf>

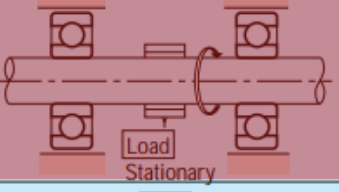
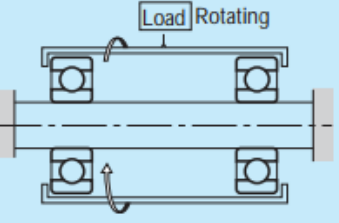
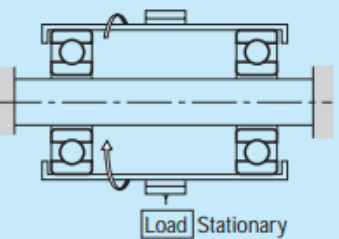
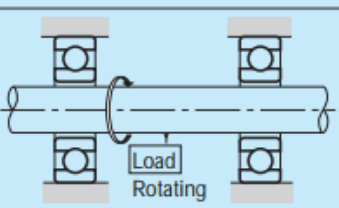




Tolerância de Montagem de rolamentos radiais

O rolamento deve entrar sem folga na carcaça e a montagem deve ser feita com um mínimo esforço, no máximo com auxílio de um martelo de borracha.

Table 9.1 Loading Conditions and Fits

Load Application	Bearing Operation		Load Conditions	Fitting	
	Inner Ring	Outer Ring		Inner Ring	Outer Ring
	Rotating	Stationary	Rotating Inner Ring Load Stationary Outer Ring Load	Tight Fit	Loose Fit
	Stationary	Rotating			
	Stationary	Rotating	Rotating Outer Ring Load Stationary Inner Ring Load	Loose Fit	Tight Fit
	Rotating	Stationary			
Direction of load indeterminate due to variation of direction or unbalanced load	Rotating or Stationary	Rotating or Stationary	Direction of Load Indeterminate	Tight Fit	Tight Fit



Tolerância de Montagem de rolamentos radiais

- Qual deve ser a tolerância recomendada para o furo da carcaça ($\emptyset$ 32mm)?

Table 9.4 Fits of Radial Bearings with Housings

Load Conditions			Examples	Tolerances for Housing Bores	Axial Displacement of Outer Ring	Remarks
Solid Housings	Rotating Outer Ring Load	Heavy Loads on Bearing in Thin-Walled Housing or Heavy Shock Loads	Automotive Wheel Hubs (Roller Bearings) Crane Travelling Wheels	P7	Impossible	—
		Normal or Heavy Loads	Automotive Wheel Hubs (Ball Bearings) Vibrating Screens	N7		
		Light or Variable Loads	Conveyor Rollers Rope Sheaves Tension Pulleys	M7		
	Direction of Load Indeterminate	Heavy Shock Loads	Traction Motors	K7	Generally Impossible	If axial displacement of the outer ring is not required.
		Normal or Heavy Loads	Pumps Crankshaft Main Bearings Medium and Large Motors ⁽¹⁾			
	Solid or Split Housings		Normal or Light Loads	JS7 (J7)	Possible	Axial displacement of outer ring is necessary.
Rotating Inner Ring Load		Loads of All kinds	General Bearing Applications Railway Axleboxes	H7	Easily possible	—
		Normal or Light Loads	Plummer Blocks	H8		
		High Temperature Rise of Inner Ring Through Shaft	Paper Dryers	G7		
Solid Housing			Accurate Running Desirable under Normal or Light Loads	Grinding Spindle Rear Ball Bearings High Speed Centrifugal Compressor Free Bearings	JS6 (J6)	Possible
	Direction of Load Indeterminate		Grinding Spindle Front Ball Bearings High Speed Centrifugal Compressor Fixed Bearings	K6	Generally Impossible	For heavy loads, interference fit tighter than K is used. When high accuracy is required, very strict tolerances should be used for fitting.
	Rotating Inner Ring Load	Accurate Running and High Rigidity Desirable under Variable Loads	Cylindrical Roller Bearings for Machine Tool Main Spindle	M6 or N6	Impossible	
			Minimum noise is required.	Electrical Home Appliances	H6	Easily Possible

Note ⁽¹⁾ Refer to Tables 9.13.1 and 9.13.2 for the recommended fits of housing bores of deep groove ball bearings and cylindrical roller bearings for electric motors.

Remarks 1. This table is applicable to cast iron and steel housings. For housings made of light alloys, the interference should be tighter than those in this table.
2. Refer to the introductory section of the bearing dimension tables (blue pages) for special fits such as drawn cup needle roller bearings.



Tolerância de Montagem de rolamentos radiais

- Qual deve ser a tolerância recomendada para o furo da carcaça ($\varnothing 32\text{mm}$)?

Afastamentos fundamentais para furos

GRUPOS		AFASTAMENTO INFERIOR - EI												AFASTAMENTO SUPERIOR - ES												Valores de delta - Δ																					
DIMENSÕES		Todos os graus de Tolerância Padrão - ITn																																													
Acima	Abaixo	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J6	J7	J8	K6	k6	M6	M8	N6	N8	P 9 Zc	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8						
0	3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0		2	4	8	0	0	-2	-2	-4	-4			-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0					
3	6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0		5	6	10	-1+Δ		-4+Δ		-4				-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6					
6	10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0		5	8	12	-1+Δ		-6+Δ		-6				-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7					
10	14	290	150	95		50	32		16		6	0		6	10	15	-1+Δ		-7+Δ		-7				-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9					
14	18	290	150	95		50	32		16		6	0		6	10	15	-1+Δ		-7+Δ		-7				-18	-23	-28		-33	-39	-45		-60	-77	-108	-150	1	2	3	3	7	9					
18	24	300	160	110		65	40		20		7	0		8	12	20	-2+Δ		-8+Δ		-8				-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12					
24	30	300	160	110		65	40		20		7	0		8	12	20	-2+Δ		-8+Δ		-8				-22	-28	-35		-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-228	1,5	2	3	4	8	12				
30	40	310	170	120		80	50		25		9	0		10	14	24	-2+Δ		-9+Δ		-9				-26	-34	-43		-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14				
40	50	320	180	130		80	50		25		9	0		10	14	24	-2+Δ		-9+Δ		-9				-26	-34	-43		-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325	1,5	3	4	5	9	14				
50	65	340	190	140		100	60		30		10	0		13	18	28	-2+Δ		-11+Δ		-11				-32	-41	-53		-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16				
65	80	360	200	150		100	60		30		10	0		13	18	28	-2+Δ		-11+Δ		-11				-32	-43	-59		-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480	2	3	5	6	11	16				
80	100	380	220	170		120	72		36		12	0		16	22	34	-3+Δ		-13+Δ		-13				-37	-51	-71		-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19				
100	120	410	240	180		120	72		36		12	0		16	22	34	-3+Δ		-13+Δ		-13				-37	-54	-79		-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690	2	4	5	7	13	19				
120	140	460	260	200		145	85		43		14	0		18	26	41	-3+Δ		-15+Δ		-15				-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	7	15	23				
140	160	520	280	210		145	85		43		14	0		18	26	41	-3+Δ		-15+Δ		-15				-43	-65	-100		-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23				
160	180	580	310	230		145	85		43		14	0		18	26	41	-3+Δ		-15+Δ		-15				-43	-68	-108		-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000	3	4	6	7	15	23				
180	200	660	340	240		170	100		50		15	0		22	30	47	-4+Δ		-17+Δ		-17				-50	-77	-122		-160	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26				
200	225	740	380	260		170	100		50		15	0		22	30	47	-4+Δ		-17+Δ		-17				-50	-80	-130		-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250	3	4	6	9	17	26				
225	250	820	420	280		170	100		50		15	0		22	30	47	-4+Δ		-17+Δ		-17				-50	-84	-140		-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350	3	4	6	9	17	26				
250	280	920	480	300		190	110		56		17	0		25	36	55	-4+Δ		-20+Δ		-20				-56	-94	-158		-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29				
280	315	1060	540	330		190	110		56		17	0		25	36	55	-4+Δ		-20+Δ		-20				-56	-98	-170		-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700	4	4	7	9	20	29				
315	355	1200	600	360		210	125		62		18	0		29	39	60	-4+Δ		-21+Δ		-21				-62	-108	-190		-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32				
355	400	1350	680	400		210	125		62		18	0		29	39	60	-4+Δ		-21+Δ		-21				-62	-114	-208		-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32				
400	450	1500	760	440		230	135		68		20	0		33	43	66	-5+Δ		-23+Δ		-23				-68	-126	-232		-330	-490	-600	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34				
450	500	1650	840	480		230	135		68		20	0		33	43	66	-5+Δ		-23+Δ		-23				-68	-132	-252		-360	-540	-640	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600	5	5	7	13	23	34				
500	560					260	145		76		22	0					0		-26		-26				-78	-150	-280		-400	-600								5	6	10	12	26	40				
560	630					260	145		76		22	0					0		-26		-26				-78	-155	-310		-450	-660									5	6	10	12	26	40			
630	710					290	160		80		24	0					0		-30		-30				-88	-175	-340		-500	-740									5	7	11	14	30	45			
710	800					290	160		80		24	0					0		-30		-30				-88	-185	-380		-560	-840										5	7	11	14	30	45		
800	900					320	170		86		26	0					0		-34		-34				-100	-210	-430		-620	-940										6	7	12	16	34	50		
900	1000					320	170		86		26	0					0		-34		-34				-100	-220	-470		-680	-1050											6	7	12	16	34	50	
1000	1120					360	195		96		28	0					0		-40		-40				-120	-250	-520		-780	-1150											6	9	14	19	39	60	
1120	1250					360	195		96		28	0					0		-40		-40				-120	-260	-580		-840	-1300												6	9	14	19	39	60
1250	1400					390	220		110		30	0					0		-48		-48				-140	-300	-640		-960	-1450												8	10	16	23	47	70
1400	1600					390	220		110		30	0					0		-48		-48				-140	-330	-720		-1050	-1600												8	10	16	23	47	70
1600	1800					430	240		120		32	0					0		-58		-58				-170	-370	-820		-1200	-1850												10	11	19	27	58	80
1800	2000					430	240		120		32	0					0		-58		-58				-170	-400	-920		-1350	-2000												10	11	19	27	58	80
2000	2240																																														



Tolerância de Montagem de rolamentos radiais

- Qual deve ser a tolerância recomendada para o furo da carcaça ($\varnothing 32\text{mm}$)?

Grupos de Dimensões	TABELA DOS VALORES NUMÉRICOS DE GRAUS DE TOLERÂNCIA-PADRÃO IT (tolerâncias em μm)																	
mm	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
≤ 3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
$> 3 \leq 6$	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
$> 6 \leq 10$	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
$> 10 \leq 18$	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
$> 18 \leq 30$	1,5	2,5	4	6	9	13	20	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
$> 30 \leq 50$	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
$> 50 \leq 80$	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
$> 80 \leq 120$	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
$> 120 \leq 180$	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
$> 180 \leq 250$	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
$> 250 \leq 315$	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
$> 315 \leq 400$	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
$> 400 \leq 500$	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
$> 500 \leq 630$	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
$> 630 \leq 800$	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000	12500
$> 800 \leq 1000$	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600	9000	14000
$> 1000 \leq 1250$	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500	16500
$> 1250 \leq 1600$	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500	19500
$> 1600 \leq 2000$	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200	15000	23000
$> 2000 \leq 2500$	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000	17500	28000
$> 2500 \leq 3150$	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500	21000	33000

Montagem do rolamento esquerdo

- Qual deve ser a tolerância recomendada para o furo da carcaça (ϕ 32mm)?

Solução: H6 (32 +0,+0,016)

- Quais as tolerâncias padrão (normal) para o diâmetro externo de rolamentos?

Solução: Tabela 8.2 da NSK

D Brg outside dia., nominal
 Δ_{Ds} Deviation of a single outside dia.
 Δ_{Dmp} Single plane mean outside dia. Deviation
 V_{Dp} Outside dia. Variation in a single radial plane
 V_{Dmp} Mean outside dia. Variation

C Outer ring width, nominal
 Δ_{Cs} Deviation of a single outer ring width
 V_{Cs} Outer ring width variation

K_{ea} Radial runout of assembled brg outer ring
 S_D Variation of brg outside surface generatrix inclination with outer ring reference face (backface)

S_{ea} Assembled brg outer ring face (backface) runout with raceway

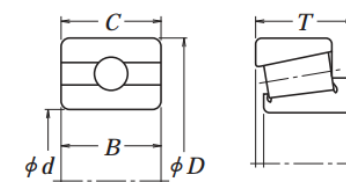


Table 8. 2 Tolerances for Radial Bearings

Table 8. 2. 2 Tolerances

Nominal Outside Diameter D (mm)		Δ_{Dmp}										Δ_{Ds}			
		Normal		Class 6		Class 5		Class 4		Class 2		Class 4		Class 2	
over	incl.	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low
2.5 ⁽¹⁾	6	0	- 8	0	- 7	0	- 5	0	- 4	0	- 2.5	0	- 4	0	- 2.5
6	18	0	- 8	0	- 7	0	- 5	0	- 4	0	- 2.5	0	- 4	0	- 2.5
18	30	0	- 9	0	- 8	0	- 6	0	- 5	0	- 4	0	- 5	0	- 4
30	50	0	- 11	0	- 9	0	- 7	0	- 6	0	- 4	0	- 6	0	- 4
50	80	0	- 11	0	- 9	0	- 7	0	- 6	0	- 4	0	- 7	0	- 4
80	120	0	- 15	0	- 13	0	- 10	0	- 8	0	- 5	0	- 8	0	- 5
120	150	0	- 18	0	- 15	0	- 11	0	- 9	0	- 5	0	- 9	0	- 5
150	180	0	- 25	0	- 18	0	- 13	0	- 10	0	- 7	0	- 10	0	- 7
180	250	0	- 30	0	- 20	0	- 15	0	- 11	0	- 8	0	- 11	0	- 8
250	315	0	- 35	0	- 25	0	- 18	0	- 13	0	- 8	0	- 13	0	- 8
315	400	0	- 40	0	- 28	0	- 20	0	- 15	0	- 10	0	- 15	0	- 10
400	500	0	- 45	0	- 33	0	- 23	-	-	-	-	-	-	-	-
500	630	0	- 50	0	- 38	0	- 28	-	-	-	-	-	-	-	-
630	800	0	- 75	0	- 45	0	- 35	-	-	-	-	-	-	-	-
800	1 000	0	- 100	0	- 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 000	1 250	0	- 125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 250	1 600	0	- 160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 600	2 000	0	- 200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 000	2 500	0	- 250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(excluding Tapered Roller Bearings)

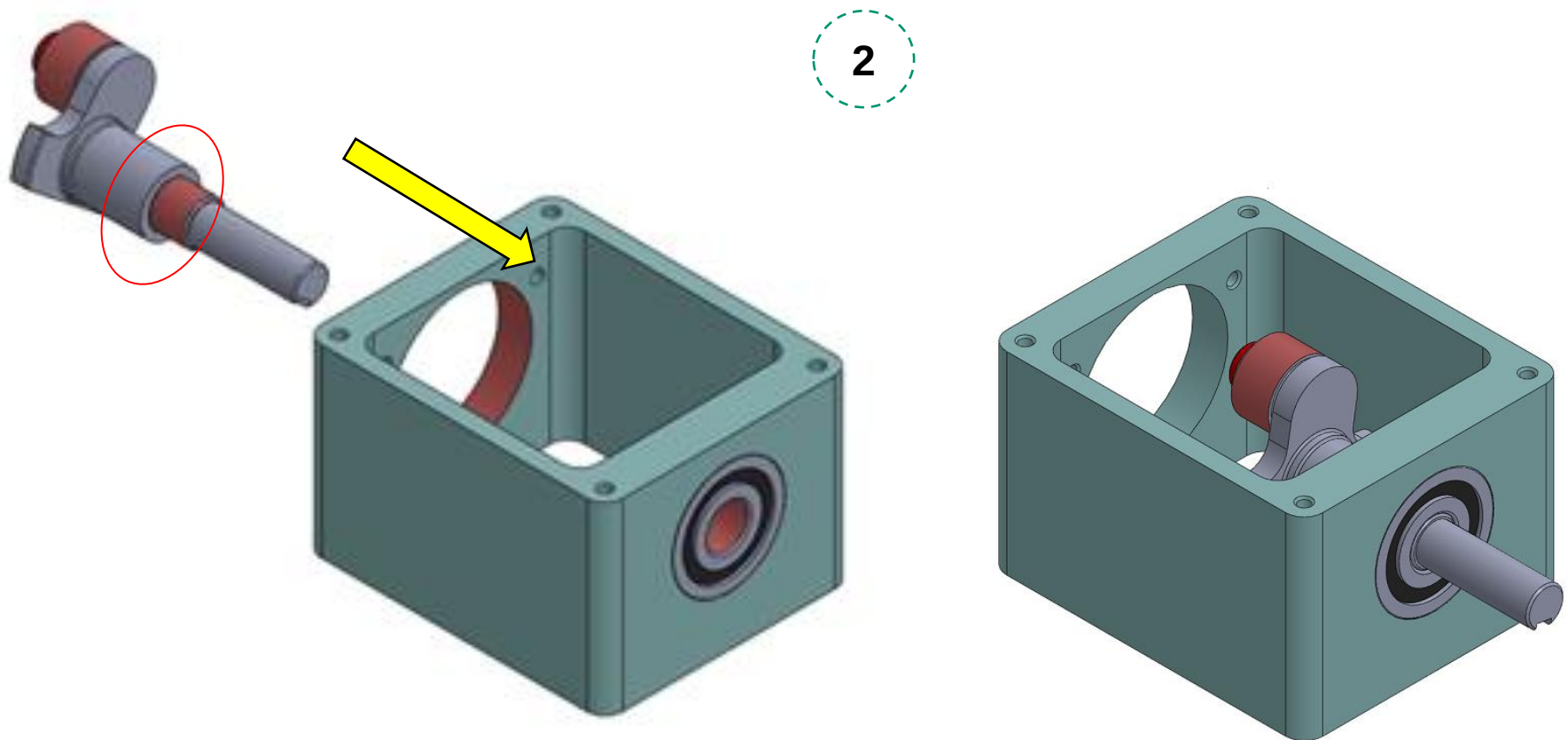
for Outer Rings

Units : μ m

V_{Dp} (°)															V_{Dmp} (°)				
Normal					Class 6					Class 5					Class 4				
Open Type					Shielded Sealed					Open Type					Open Type				
Diameter Series					Diameter Series					Diameter Series					Diameter Series				
9	0, 1	2, 3, 4	2, 3, 4	9	0, 1	2, 3, 4	0,1,2,3,4	9	0,1,2,3,4	9	0,1,2,3,4	9	0,1,2,3,4	0,1,2,3,4	Normal	Class 6	Class 5	Class 4	Class 2
max.					max.					max.					max.				
10	8	6	10	9	7	5	9	5	4	4	3	2.5	6	5	3	2	1.5		
10	8	6	10	9	7	5	9	5	4	4	3	2.5	6	5	3	2	1.5		
12	9	7	12	10	8	6	10	6	5	5	4	4	7	6	3	2.5	2		
14	11	8	16	11	9	7	13	7	5	6	5	4	8	7	4	3	2		
16	12	10	20	14	11	8	16	9	7	7	5	4	10	8	5	3.5	2		
19	19	11	26	16	16	10	20	10	8	8	6	5	11	10	5	4	2.5		
23	23	14	30	19	19	11	25	11	8	9	7	5	14	11	6	5	2.5		
31	31	19	38	23	23	14	30	13	10	10	8	7	19	14	7	5	3.5		
38	38	23	-	25	25	15	-	15	11	11	8	8	23	15	8	6	4		
44	44	26	-	31	31	19	-	18	14	13	10	8	26	19	9	7	4		
50	50	30	-	35	35	21	-	20	15	15	11	10	30	21	10	8	5		
56	56	34	-	41	41	25	-	23	17	-	-	10	34	25	12	-	-		
63	63	38	-	48	48	29	-	28	21	-	-	-	38	29	14	-	-		
94	94	55	-	56	56	34	-	35	26	-	-	-	55	34	18	-	-		
125	125	75	-	75	75	45	-	-	-	-	-	-	75	45	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		



Sequência de montagem dos conjuntos



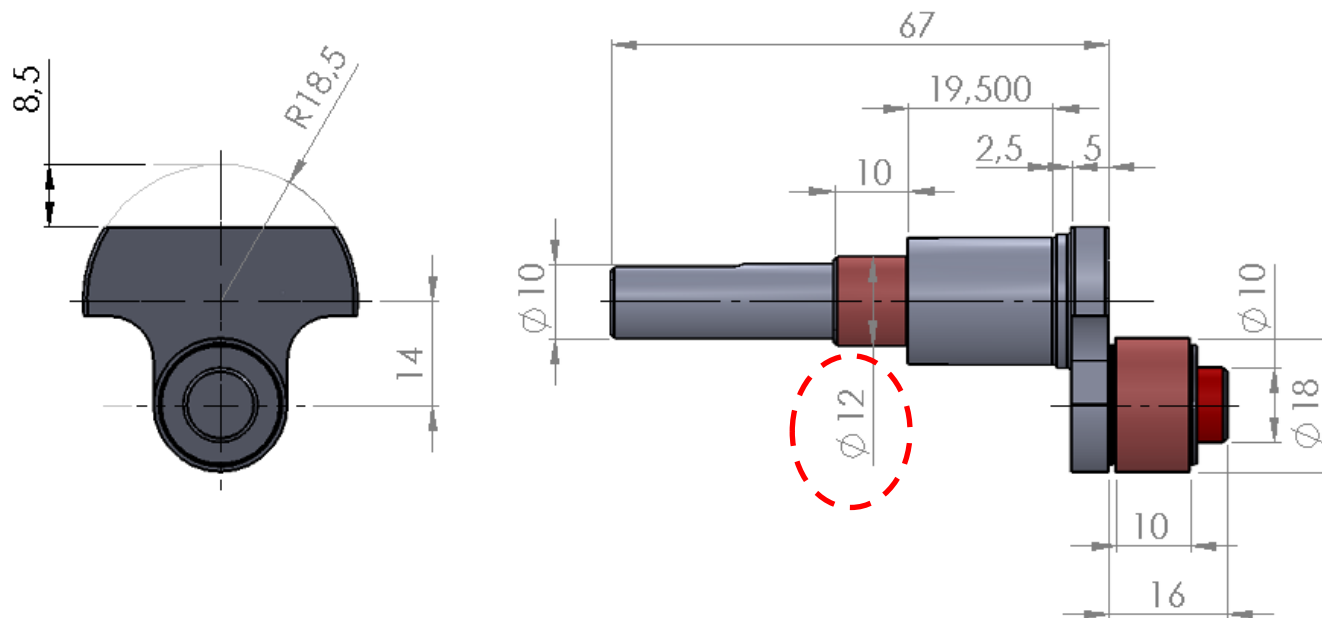
Montagem do semieixo no rolamento esquerdo



Montagem do semieixo no rolamento esquerdo

O semieixo esquerdo deve entrar sem folga no furo do rolamento, e deve ser feita com um mínimo esforço. Determine:

- Qual deve ser a tolerância recomendada para o eixo (assinalado no detalhe)?
- Qual deve ser o acabamento do eixo (assinalado no detalhe)?
- Quais as tolerâncias padrão para o diâmetro interno de rolamentos?





Tolerância de Montagem eixos em rolamentos radiais

Table 9.2 Fits of Radial Bearings with Shafts

Load Conditions		Examples	Shaft Diameter (mm)			Tolerance of Shaft	Remarks
			Ball Brgs	Cylindrical Roller Brgs, Tapered Roller Brgs	Spherical Roller Brgs		
Radial Bearings with Cylindrical Bores							
Rotating Outer Ring Load	Easy axial displacement of inner ring on shaft desirable.	Wheels on Stationary Axles	All Shaft Diameters			g6	Use g5 and h5 where accuracy is required. In case of large bearings, f6 can be used to allow easy axial movement.
	Easy axial displacement of inner ring on shaft unnecessary	Tension Pulleys Rope Sheaves				h6	
Rotating Inner Ring Load or Direction of Load Indeterminate	Light Loads or Variable Loads ($< 0.06C_r^{(1)}$)	Electrical Home Appliances Pumps, Blowers, Transport Vehicles, Precision Machinery, Machine Tools	< 18	—	—	js5	k6 and m6 can be used for single-row tapered roller bearings and single-row angular contact ball bearings instead of k5 and m5.
			18 to 100	< 40	—	js6(j6)	
			100 to 200	40 to 140	—	k6	
			—	140 to 200	—	m6	
	Normal Loads (0.06 to $0.13C_r^{(1)}$)	General Bearing Applications, Medium and Large Motors ⁽²⁾ , Turbines, Pumps, Engine Main Bearings, Gears, Woodworking Machines	< 18	—	—	js5 or js6 (j5 or j6)	
			18 to 100	< 40	< 40	k5 or k6	
			100 to 140	40 to 100	40 to 65	m5 or m6	
			140 to 200	100 to 140	65 to 100	m6	
			200 to 280	140 to 200	100 to 140	n6	
			—	200 to 400	140 to 280	p6	
			—	—	280 to 500	r6	
			—	—	over 500	r7	
	Heavy Loads or Shock Loads ($> 0.13C_r^{(1)}$)	Railway Axleboxes, Industrial Vehicles, Traction Motors, Construction Equipment, Crushers	—	50 to 140	50 to 100	n6	
			—	140 to 200	100 to 140	p6	
			—	over 200	140 to 200	r6	
			—	—	200 to 500	r7	
Axial Loads Only		All Shaft Diameters			js6 (j6)	—	
Radial Bearings with Tapered Bores and Sleeves							
All Types of Loading	General bearing Applications, Railway Axleboxes	All Shaft Diameters			h9/IT5 ⁽²⁾	IT5 and IT7 mean that the deviation of the shaft from its true geometric form, e. g. roundness and cylindricity should be within the tolerances of IT5 and IT7 respectively.	
	Transmission Shafts, Woodworking Spindles				h10/IT7 ⁽²⁾		

Notes (1) C_r represents the basic load rating of the bearing.

(2) Refer to Appendix Table 11 on page C22 for the values of standard tolerance grades IT.

(3) Refer to Tables 9.13.1 and 9.13.2 for the recommended fits of shafts used in electric motors for deep groove ball bearings with bore diameters ranging from 10 mm to 160 mm, and for cylindrical roller bearings with bore diameters ranging from 24 mm to 200 mm.

Remarks This table is applicable only to solid steel shafts.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Sequência de montagem dos conjuntos

Afastamentos fundamentais para eixos

GRUPOS		Afastamento superior - es											Afastamento inferior - ei																				
DIMENSÕES		Todos os graus de Tolerância Padrão - ITn											Todos os graus de Tolerância Padrão - ITn																				
Acima	Ate	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j6	j7	j8	≥k4	≤k3															
																	≤k7	≥k8	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc	
0	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6		0	0	2	4	6	10	14	0	18			20		26	32	40	60
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4			1	0		8	12	15	19	0	23			28		35	42	50	80
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5			1	0	6	10	15	19	23	0	28			34		42	52	67	97
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	-3	-6			1	0	7	12	18	23	28	0	33			40		50	64	90	130
14	18	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	-3	-6			1	0	7	12	18	23	28	0	33	39	45		60	77	108	150	
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	-4	-8			2	0	8	15	22	28	35	0	41	47	54	63	73	98	136	188	
24	30	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	-4	-8			2	0	8	15	22	28	35	41	48	55	64	75	88	118	160	228	
30	40	-310	-170	-120		-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		-80	-50		-25		-9	0	-5	-10			2	0	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	136	180	242	325	
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	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0	-7	-12			2	0	11	20	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480	
80	100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0	-9	-15			3	0	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585	
100	120	-410	-240	-180		-120	-72		-36		-12	0	-9	-15			3	0	13	23	37	54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690	
120	140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0	-11	-18			3	0	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800	
140	160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0	-11	-18			3	0	15	27	43	65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900	
160	180	-580	-310	-230		-145	-85		-43		-14	0	-11	-18			3	0	15	27	43	68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000	
180	200	-660	-340	-240		-170	-100		-50		-15	0	-13	-21			4	0	17	31	50	77	122	160	236	284	350	425	520	670	880	1150	
200	225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0	-13	-21			4	0	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250	
225	250	-820	-420	-280		-170	-100		-50		-15	0	-13	-21			4	0	17	31	50	84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350	
250	280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0	-16	-26			4	0	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550	
280	315	-1060	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0	-16	-26			4	0	20	34	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700	
315	355	-1200	-600	-360		-210	-125		-62		-18	0	-18	-28			4	0	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900	
355	400	-1350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0	-18	-28			4	0	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100	
400	450	-1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0	-20	-32			5	0	23	40	68	126	232	330	490	490	740	920	1100	1450	1850	2400	
450	500	-1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0	-20	-32			5	0	23	40	68	132	252	360	540	540	820	1000	1250	1600	2100	2600	
500	560					-260	-145		-76		-22	0					0	0	26	44	78	150	280	400	600								
560	630					-260	-145		-76		-22	0					0	0	26	44	78	155	310	450	660								
630	710					-290	-160		-80		-24	0					0	0	30	50	88	175	340	500	740								
710	800					-290	-160		-80		-24	0					0	0	30	50	88	185	380	560	840								
800	900					-320	-170		-86		-26	0					0	0	34	56	100	210	430	620	940								
900	1000					-320	-170		-86		-26	0					0	0	34	56	100	220	470	680	1050								
1000	1120					-360	-195		-98		-28	0					0	0	40	66	120	250	520	780	1150								
1120	1250					-360	-195		-98		-28	0					0	0	40	66	120	260	580	840	1300								
1250	1400					-390	-220		-110		-30	0					0	0	48	78	140	300	640	960	1450								
1400	1600					-390	-220		-110		-30	0					0	0	48	78	140	330	720	1050	1600								
1600	1800					-430	-240		-120		-32	0					0	0	58	92	170	370	820	1200	1850								
1800	2000					-430	-240		-120		-32	0					0	0	58	92	170	400	920	1350	2000								
2000	2240					-490	-260		-130		-34	0					0	0	68	110	195	440	1000	1500	2300								
2240	2500					-490	-260		-130		-34	0					0	0	68	110	195	460	1100	1650	2500								
2500	2800					-520	-290		-145		-38	0					0	0	76	135	240	550	1250	1900	2900								
2800	3150					-520	-290		-145		-38	0					0	0	76	135	240	580	1400	2100	3200								

- Qual deve ser a tolerância recomendada para o eixo (assinalado no detalhe)?
- **Solução:** k5 ou **k6** (12 +0,001/+0,012)
- Qual deve ser o acabamento do eixo (assinalado no detalhe)? **Solução:** Retificado
- Quais as tolerâncias padrão para o diâmetro interno de rolamentos? **Solução:** tabela 8.2.1 (+0/-0,008)

d	Brg bore dia., nominal
Δ_{ds}	Deviation of a single bore dia.
Δ_{dmp}	Single plane mean bore dia. deviation
V_{dp}	Bore dia. Variation in a single radial plane
V_{dmp}	Mean bore dia. Variation
B	Inner ring width, nominal
Δ_{Bs}	Deviation of a single inner ring width
V_{Bs}	Inner ring width variation
K_{ia}	Radial runout of assemblies brg inner ring
S_d	inner ring reference face (backface, where applicable) runout with bore
S_{ia}	Assembled brg inner ring face (back face) runout with raceway
S_i, S_e	Raceway to backface thickness variation of thrust brg
T	Brg width, nominal
Δ_{Ts}	Deviation of the actual brg width

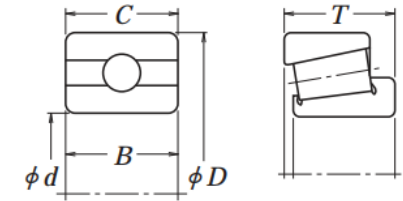
Units : μm

Table 8. 2 Tolerances for Radial Bearings
Table 8. 2. 1 Tolerances for Inner Rings and

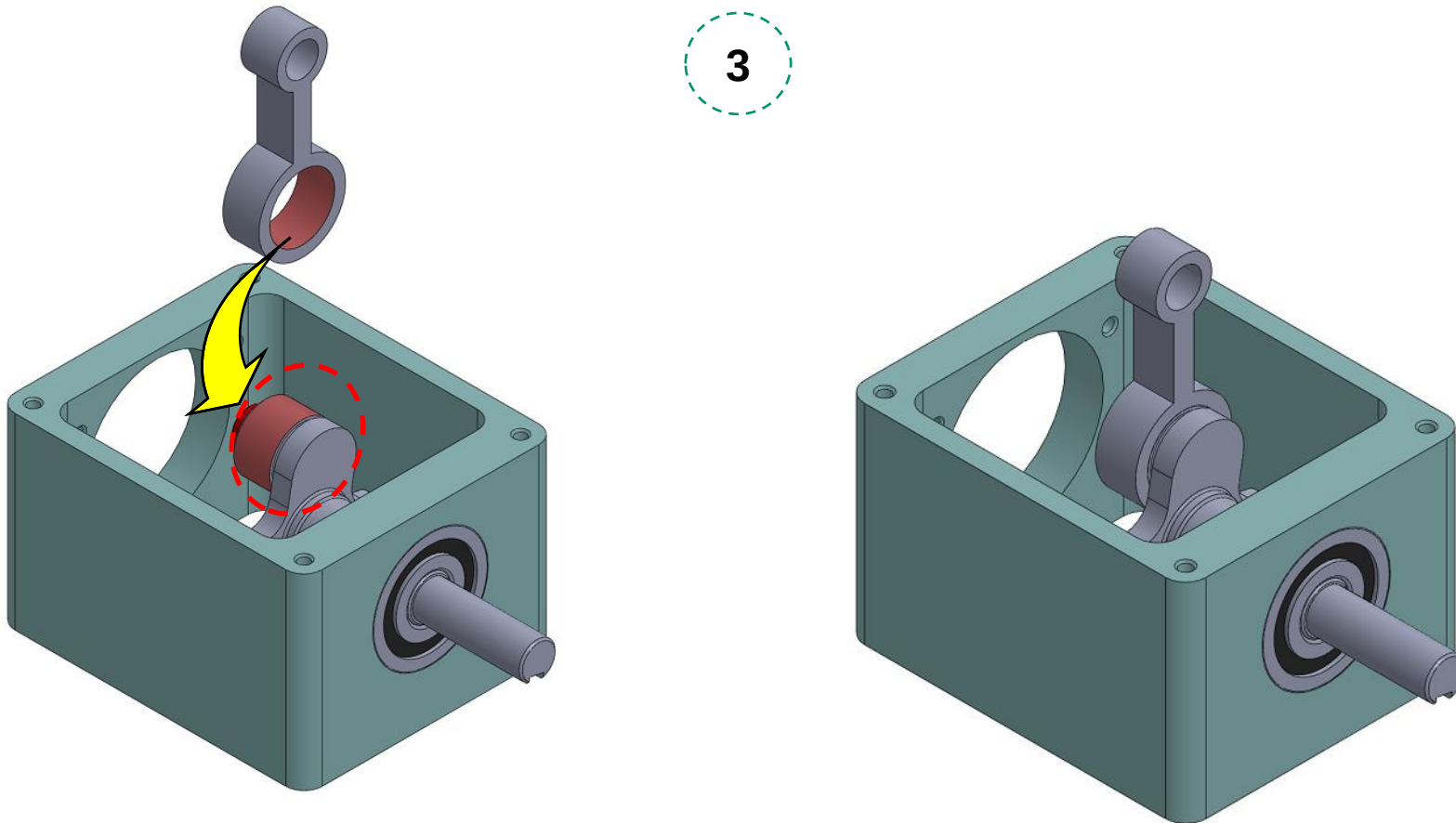
[illegible]

(excluding Tapered Roller Bearings)
Widths of Outer Rings

[illegible]



Sequência de montagem dos conjuntos



Montagem da biela no semieixo esquerdo



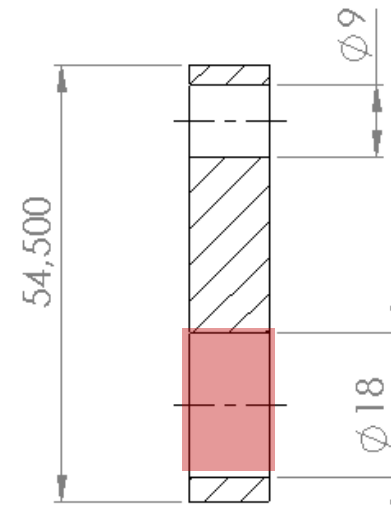
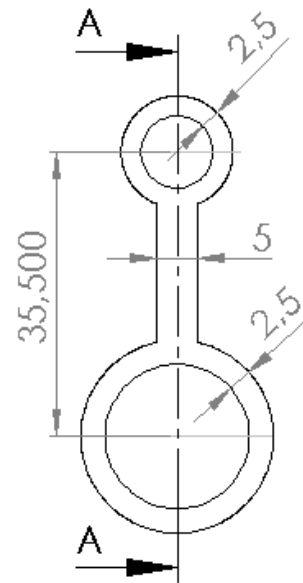
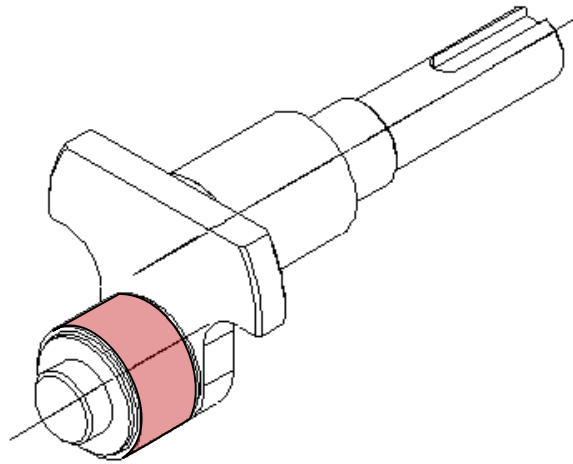
Montagem da biela no semieixo esquerdo

A biela deve girar livre sem folga excessiva no acento (assinalado no detalhe) do semieixo esquerdo. Determine:

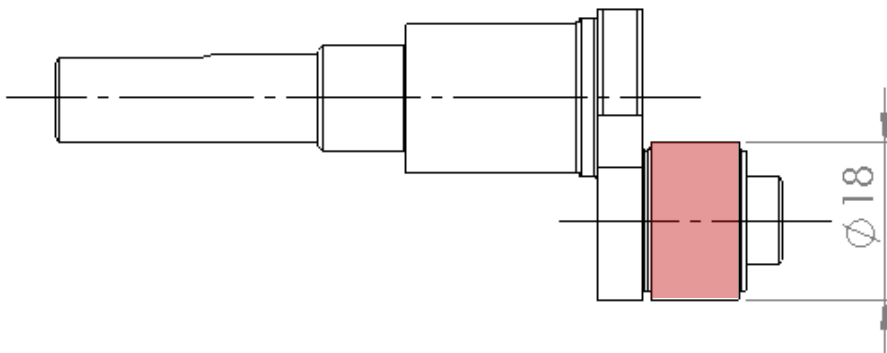
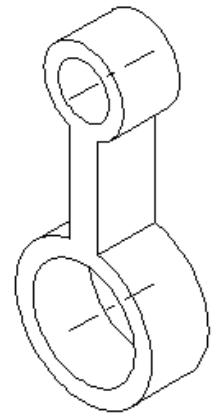
- Quais devem ser as tolerâncias dimensionais recomendadas para o conjunto acento do semieixo esquerdo / furo da biela?
- Qual deve ser o acabamento recomendado superficial para o furo da biela e acento?
- Devem ser recomendadas tolerâncias geométricas para esse conjunto? Quais?



Montagem da biela no semieixo esquerdo



SEÇÃO A-A



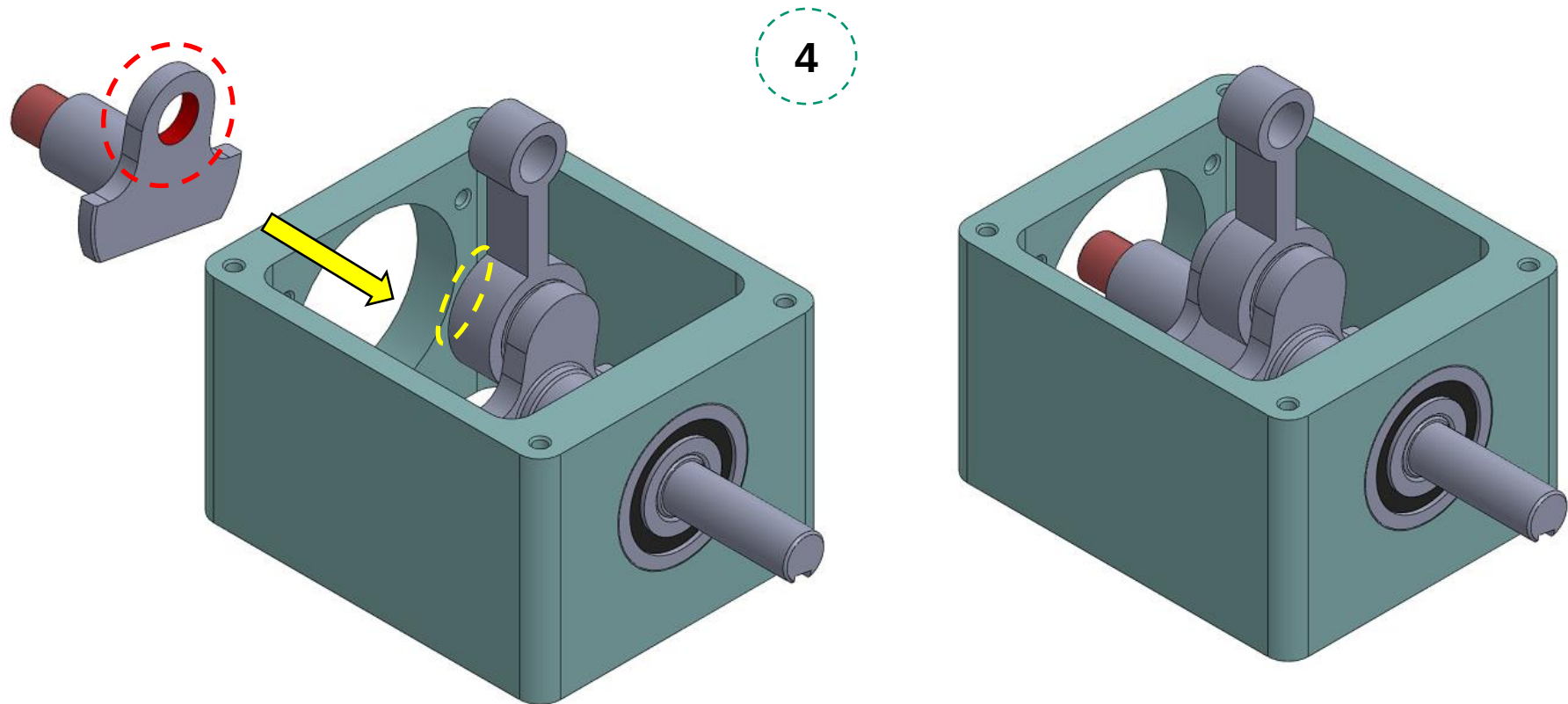


Montagem da biela no semieixo esquerdo

- Quais devem ser as tolerâncias dimensionais recomendadas para o conjunto acento do semieixo esquerdo / furo da biela?
 - **Solução: a montagem biela semieixo funcionará como um mancal hidrodinâmico, tolerância para biela: $+0,4/+0,8$, tolerância para o assento do eixo $+0/-0,1$**
 - **Essa montagem, eixo /biela, é um mancal hidrodinâmico. Na verdade não é um ajuste. A ordem dessa folga é na ordem de 20 a 100um no raio. Minha sugestão é só dar essa visão, não é por si um ajuste, é uma folga de projeto em função do emprego.**
 - **As tolerâncias devem ser de tal ordem que não comprometam a folga. Outra ênfase é que nesse caso os erros de forma devem ser bem menores do as tolerâncias.**
- Qual deve ser o acabamento recomendado superficial para o furo da biela e acento?
 - **Solução: Retificados**
- Devem ser recomendadas tolerâncias geométricas para esse conjunto? Quais?
 - **Solução: tolerância para biela e assento do eixo : $\pm 0,01$ a $\pm 0,005$, o mínimo é de $1/10$ da tolerância dimensional.**



Sequência de montagem dos conjuntos



Montagem do semieixo direito no semieixo esquerdo



Montagem do semieixo direito no semieixo esquerdo

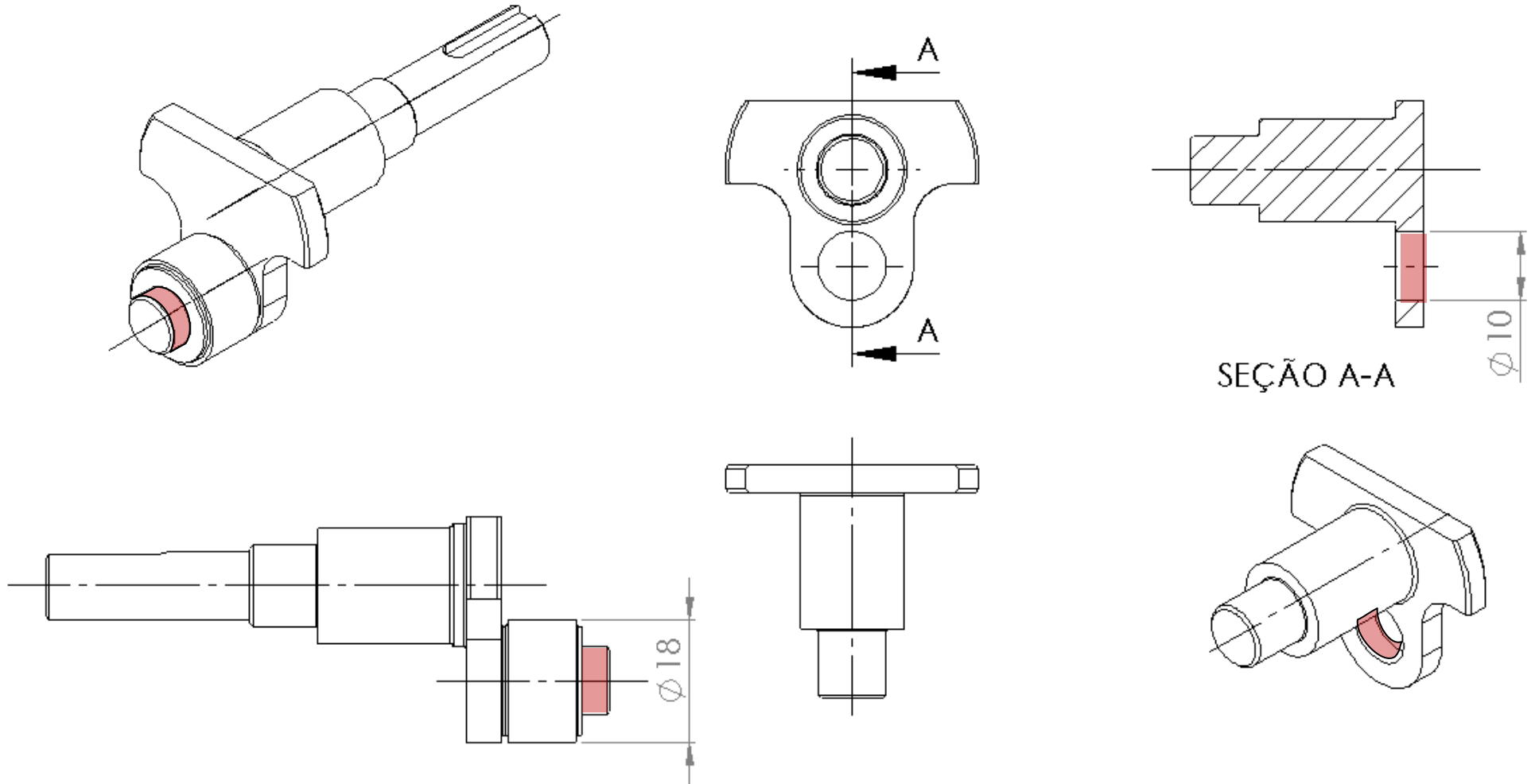
O semieixo direito deve entrar sem folga no ressalto do acento do semieixo esquerdo e deve ser feita com um mínimo esforço.

Pesquise:

- Nesta condição de montagem sem folga e sem esforço, o que você recomendaria para manter os dois semieixos unidos?



Montagem do semieixo direito no semieixo esquerdo





Montagem do semieixo direito no semieixo esquerdo

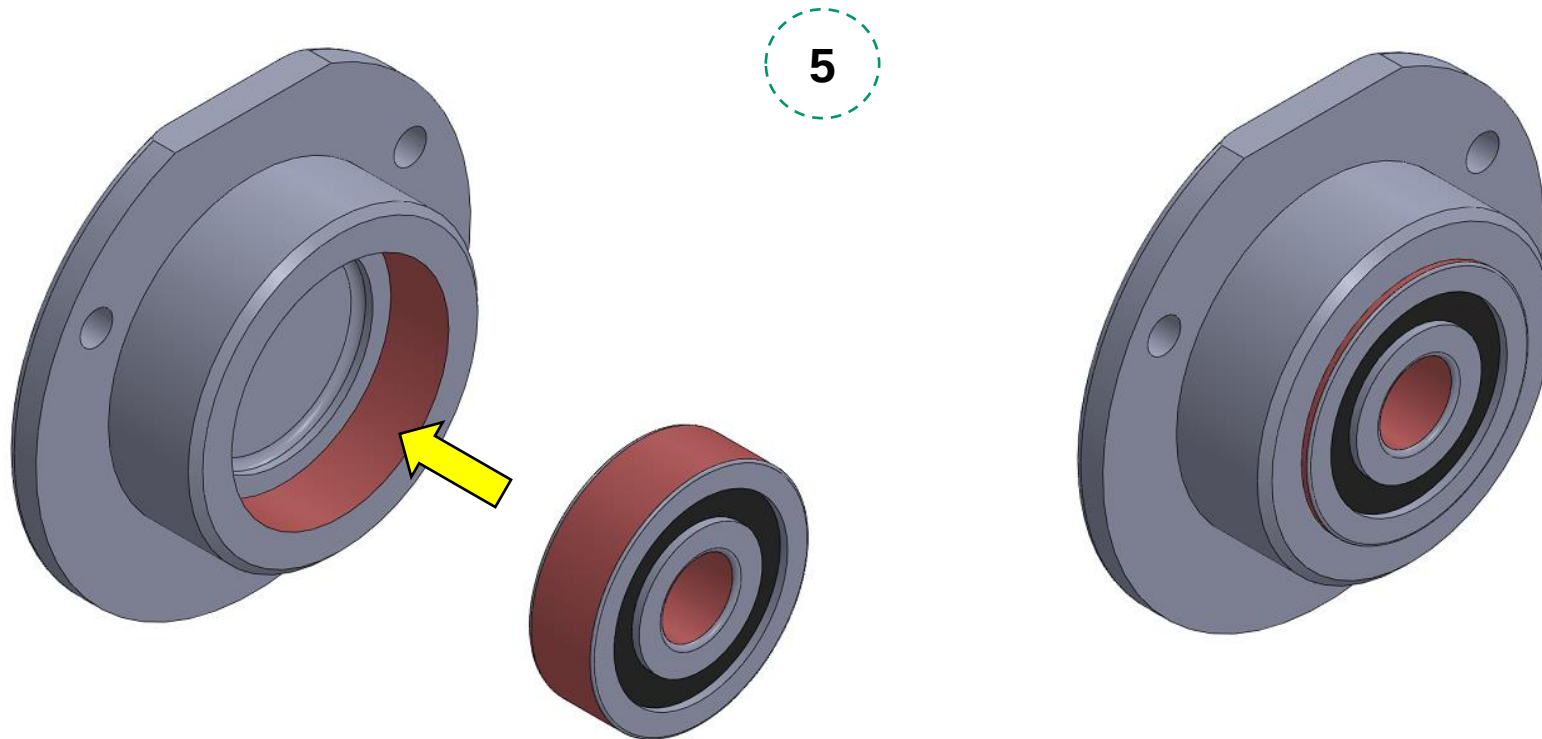
O semieixo direito deve entrar sem folga no ressalto do acento do semieixo esquerdo e deve ser feita com um mínimo esforço.

Pesquise:

- Nesta condição de montagem sem folga e sem esforço, o que você recomendaria para manter os dois semieixos unidos?
- **Solução: a montagem biela semieixo sem folga no ressalto do acento do semieixo esquerdo pode ser H6/h7, H7/g6, montagem com interferência leve**



Sequência de montagem dos conjuntos



Montagem do rolamento direito na flange



Montagem do rolamento direito na flange

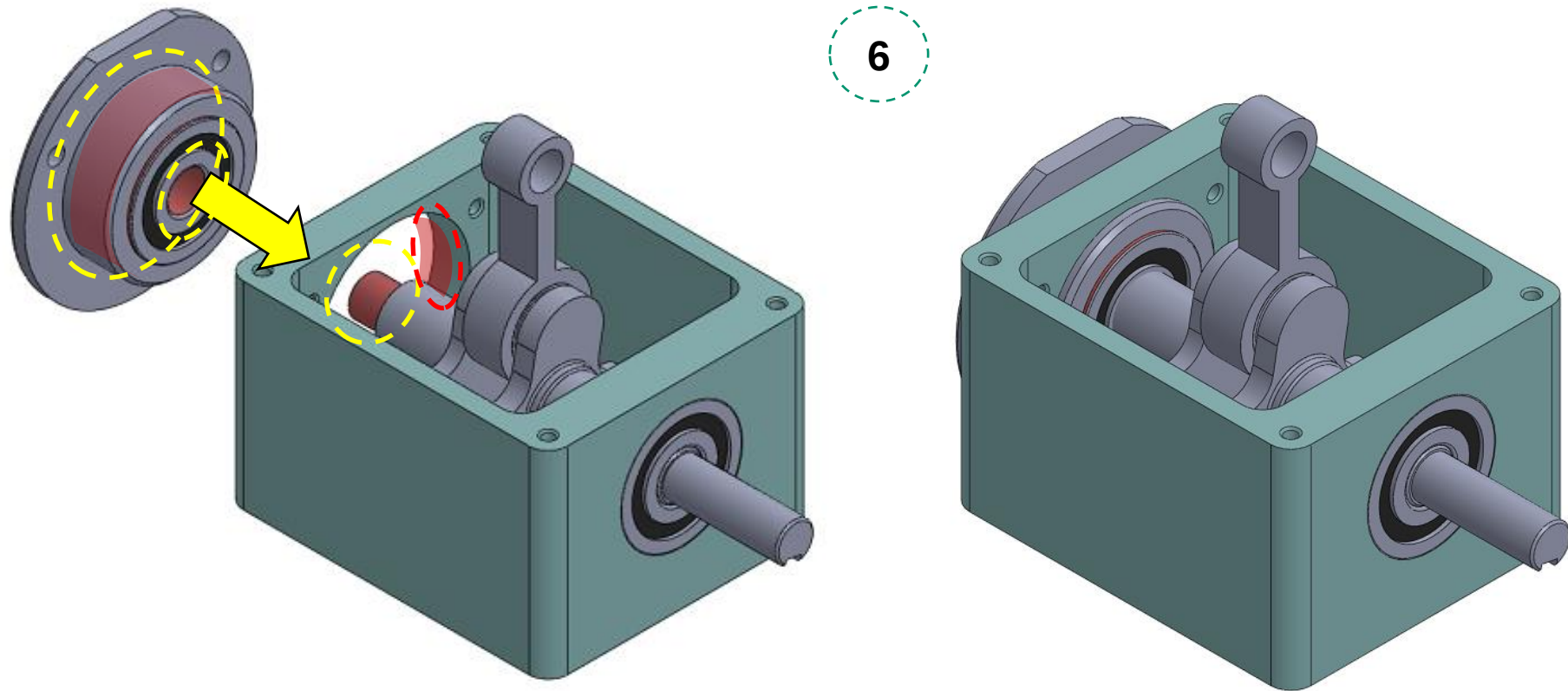
O rolamento deve entrar sem folga na flange e a montagem deve ser feita com um mínimo esforço, no máximo com auxílio de um martelo de borracha. Pesquise:

- As tolerâncias especificadas para a montagem 1 podem ser repetidas?

➤ **Solução: Sim**



Sequência de montagem dos conjuntos



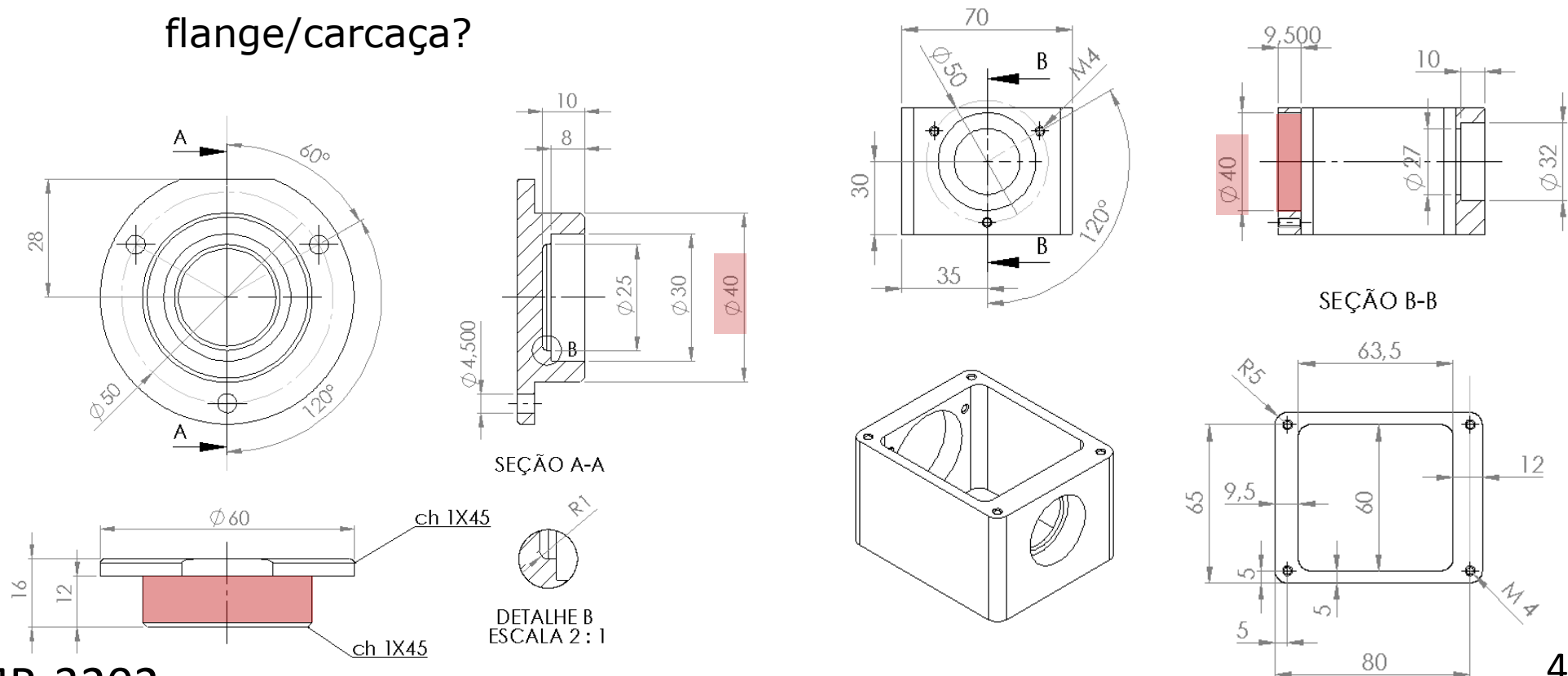
**Montagem do conjunto rolamento direito / flange
no semieixo direito / carcaça**



Montagem do conjunto rolamento direito / flange no semieixo direito / carcaça

A flange deve ser montada na carcaça sem esforço e com um mínima folga. Pesquise:

- Quais devem ser as tolerâncias recomendadas o conjunto flange/carcaça?





Montagem do conjunto rolamento direito / flange no semieixo direito / carcaça

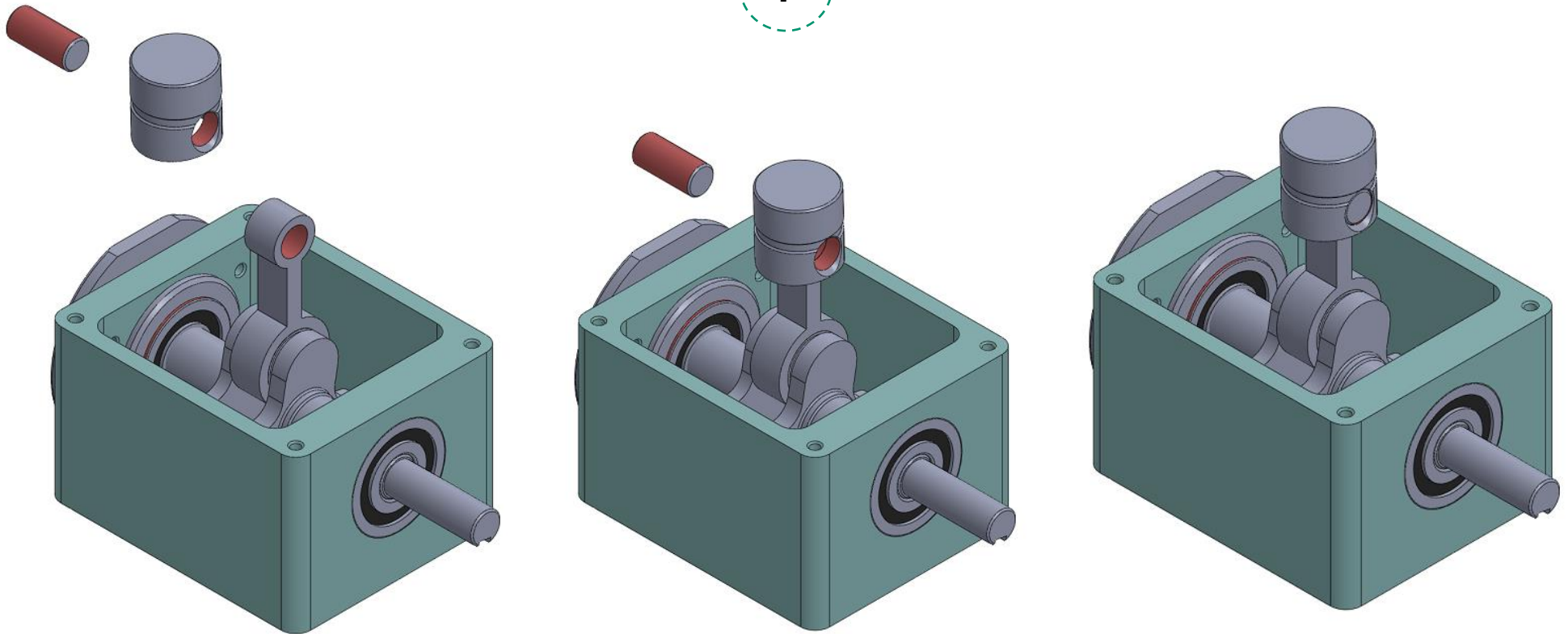
A flange deve ser montada na carcaça sem esforço e com um mínima folga. Pesquise:

- Quais devem ser as tolerâncias recomendadas o conjunto flange/carcaça?
- **Solução: Para a flange (40 +0/+0,2), para o furo (40 +0/-0,1)**



Sequência de montagem dos conjuntos

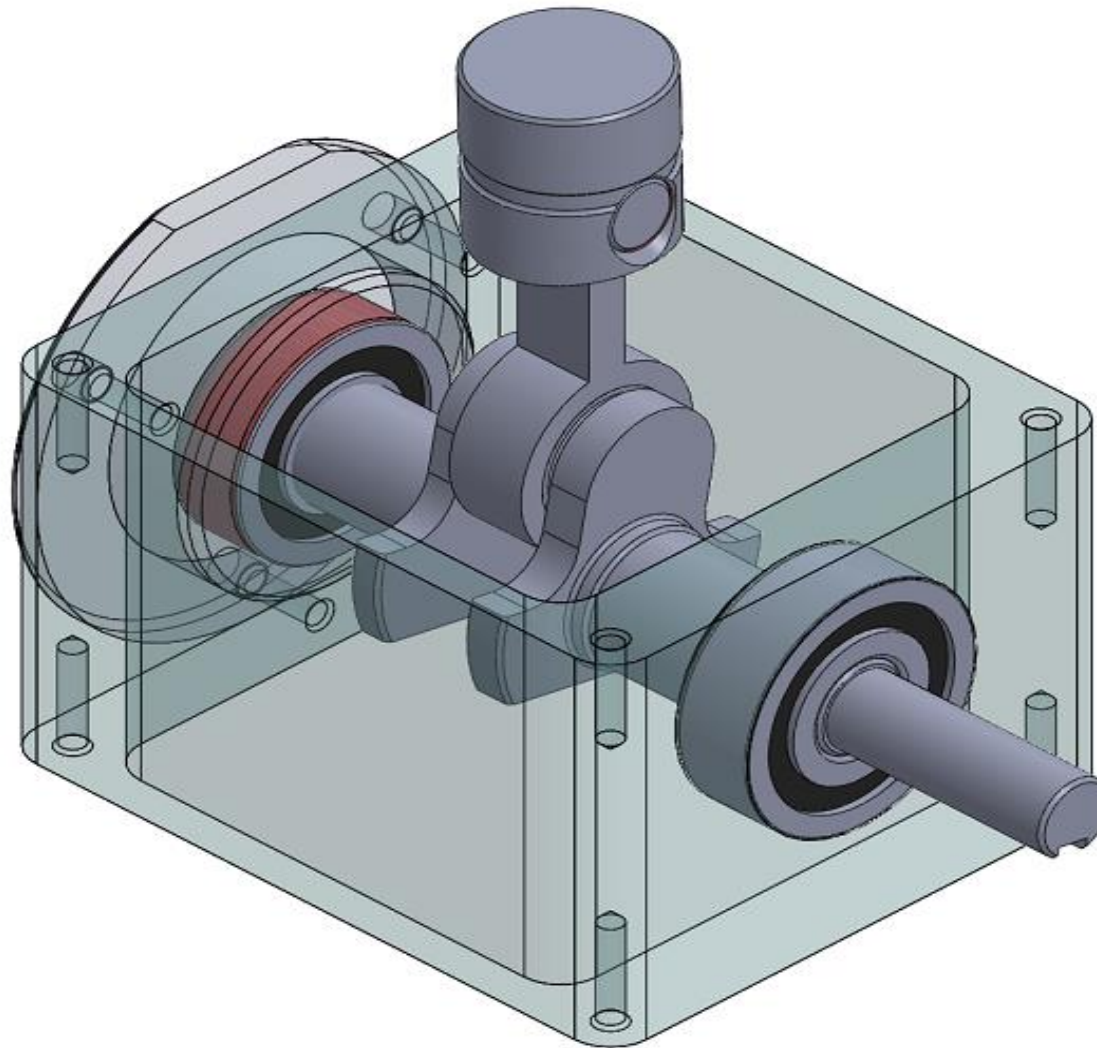
7



Montagem do pistão na biela



Conjunto montado





Tolerâncias geométricas – Guia completo

GD&T GUIDE PER ASME Y14.5M - 1994										IIGDT	
Feature Categories	Tolerance Types	ASME Symbol	Drawing Callout Example	Drawing Callout Meaning	Manual or Functional Gaging Method	Pictorial View	Tolerance Zone Definition (for Example)	Zone Modifiers Allowed	Datums Used	Additional Comments	
for Individual Features	Form	Straightness (6.4.1)					Parallel lines, within which the surface element must lie	No (Surface)	No	• Refinement of size. • Tolerance value must be less than the size tolerance.	
							Cylindrical boundary, within which the axis of the feature must lie (derived median line)	Yes (Axis)	No	• Not a refinement of size. • Rule #1 of ANSI (2.7.1) only applies to each circular element. • MMC or RFS only. • Where necessary the geometric tolerance may be greater than the size tolerance.	
		Flatness (6.4.2)					Parallel Planes, within which the elements of a surface must lie	No	No	• Refinement of size. • Tolerance value must be less than the size tolerance.	
		Circularity (6.4.3)					Concentric circles, within which each circular element of the surface must lie	No	No	• Refinement of size. • Does not control straightness or taper. • Tolerance value must be less than the size tolerance.	
		Cylindricity (6.4.4)					Concentric cylinders, within which all surface elements must lie	No	No	• Refinement of size. • Tolerance value must be less than the size tolerance. • Cylindricity is a composite control of form which includes circularity, straightness and taper of a cylindrical feature.	
for Individual or Related Features	Profile of a Surface (6.5.2 a)						A uniform boundary equally disposed along the true (theoretically exact) profile within which the elements of the surface must lie	No	Yes	• Used to control form or combinations of size, form, orientation, and location. • Tolerance zone can be bilateral or unilateral. • Basic dimensions must be used to establish the true profile.	
							Parallel planes, within which the elements of both surfaces must lie simultaneously	No	No (In this example)	• Used as a refinement of size, the profile tolerance must be contained within the size limits. • Also controls flatness of each ind. surface. • If a datum was used with a linear dimension it would also control parallelism. • Datum with a basic dimension would control the tolerance around the true profile.	
							A uniform boundary equally disposed along the true (theoretically exact) profile, within which the surface elements of each cross-section must lie	No	No (In this example)	• Used to control form, or combination of size, form, orientation, and location. • Tolerance zone can be bilateral or unilateral. • Can be used as refinement of size. • Datums can be used where necessary to define design intent differently (in other examples).	

