

9 – Mancais de Rolamento

Mancais são elementos de máquinas que suportam eixo girante, deslizante ou oscilante. São classificados em mancais de:

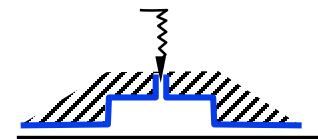
Mancais convencionais

- de rolamentos (de esferas, de rolos, de rolos cônicos, de agulhas);
- de deslizamento (buchas, hidrodinâmicos).



Mancais especiais

- Hidrostáticos
- Aerostáticos
- Aerodinâmicos
- Magnéticos



Principais fabricantes :

www.skf.com.br

www.nsk.com.br

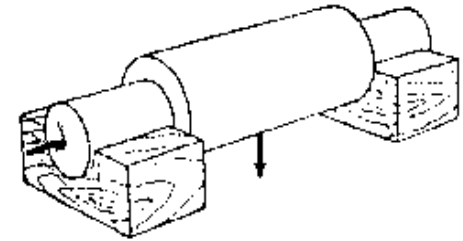
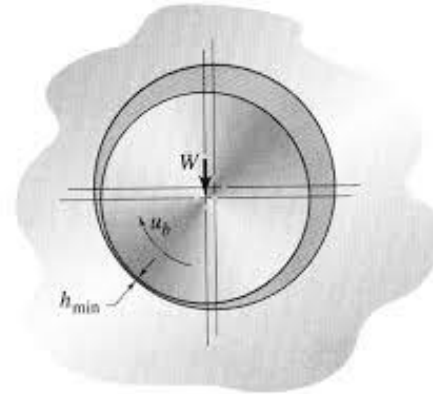
www.schaeffler.com.br

9.1 – Introdução

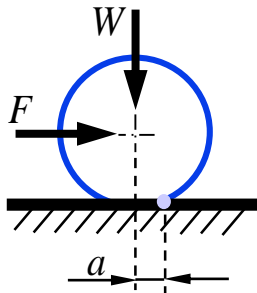
- Atrito seco de deslizamento

Atrito estático $\mu_e = 0,2$ a $0,3$

Atrito cinemático $\mu_d = 0,1$ a $0,15$



- Atrito seco de rolamento



$$F \cdot R \cong W \cdot a \Rightarrow F \cong \frac{a}{R} \cdot W$$

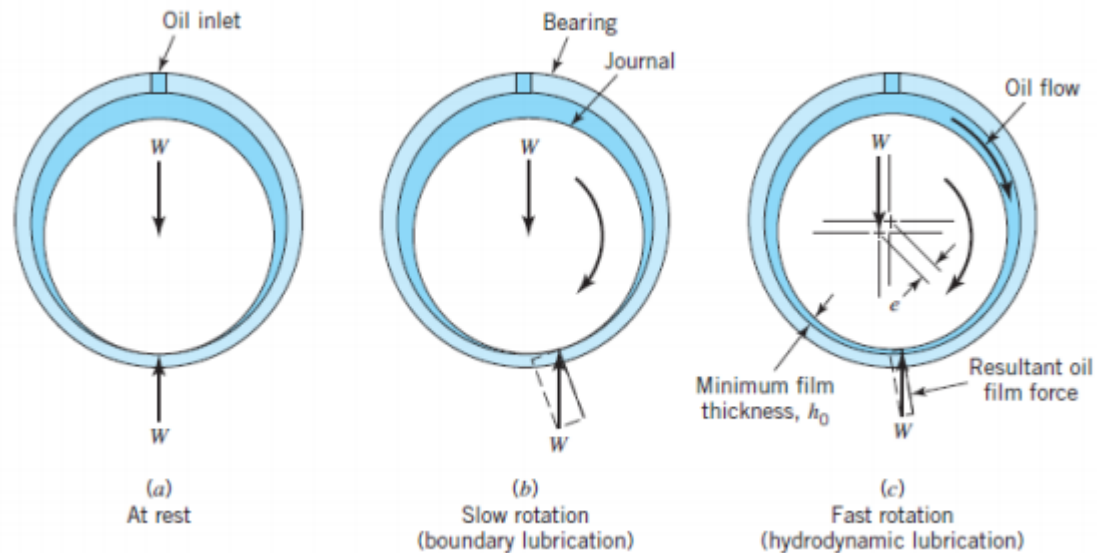
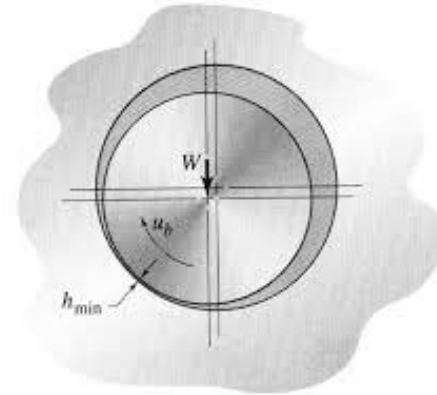
$$\mu_{rolam} = 0.0012 \sim 0.0015$$

$$\mu_{rolam} \ll \mu_d$$

Mancal de elementos rolantes e “rolamento”

Vantagens do mancal de rolamento sobre o mancal hidrodinâmico

- 1 - Menor atrito de partida (0,02 contra 0,12)
- 2 - Lubrificação mais fácil
- 3 - Amaciamento desnecessário
- 4 - Liberdade de escolha do material do eixo
- 5 - Maior capacidade de carga por largura
- 6 - Padronização



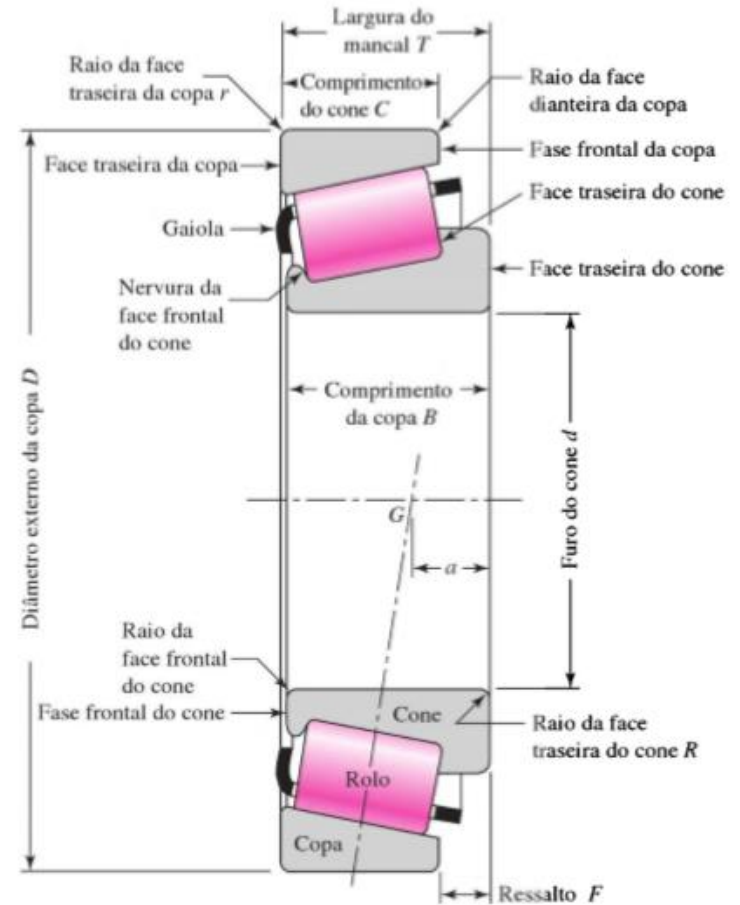
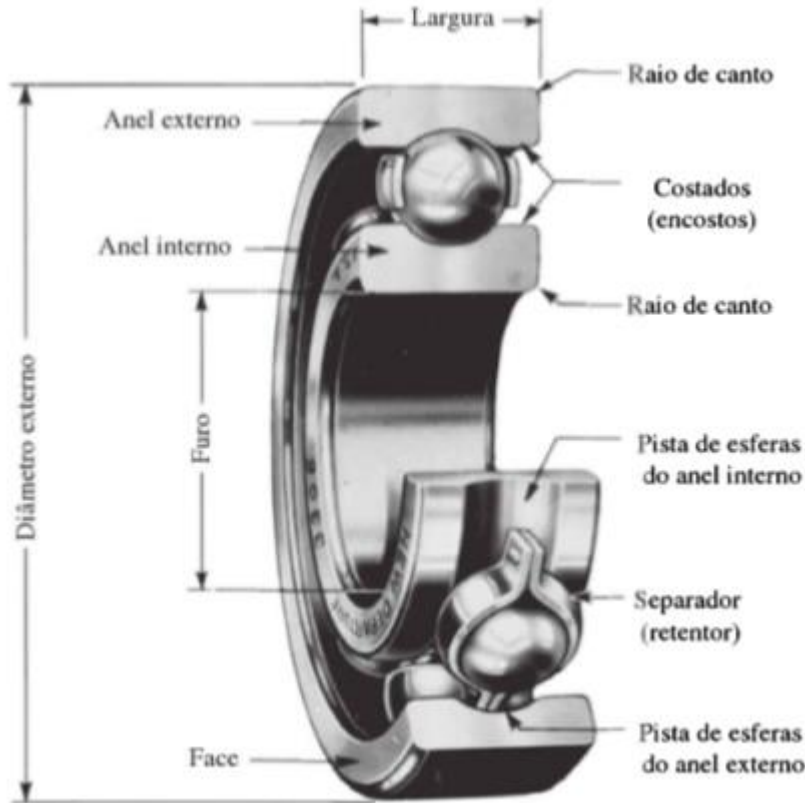
Tipos de elementos rolantes

- esférico
- cilíndrico
- cônico



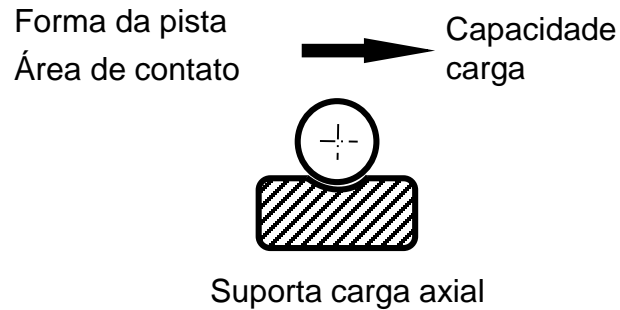
Tipo de contato	Capacidade de carga	Coefficiente de atrito
Contato puntiforme	↓	↓
Contato linear	↑	↑

Nomenclatura

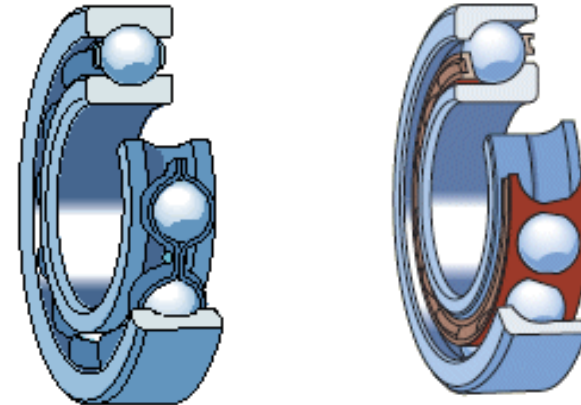


9.2 – Construção de Rolamentos

- anel externo
- anel interno
- elemento rolante
- gaiola
- pista externa
- pista interna



Rolamento rígido de uma carreira de esferas



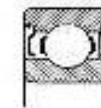
Não suporta carga axial

Blindagem (opcional) :

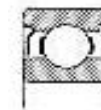
- proteção contra partículas externas
- placa protetora fixa no anel ext.
 - Z (1 placa)
 - 2Z (2 placas)
 - LZ (pré lubrificadas)



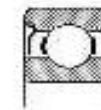
Z



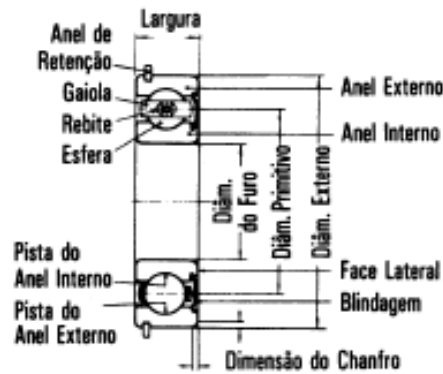
2Z



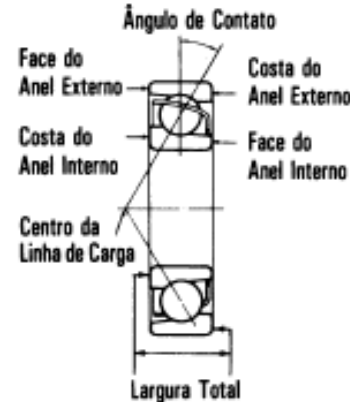
LZ



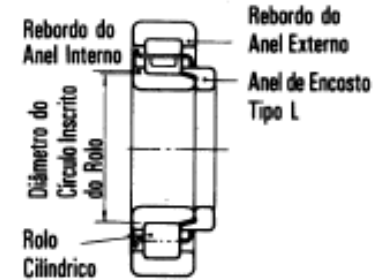
2LZ



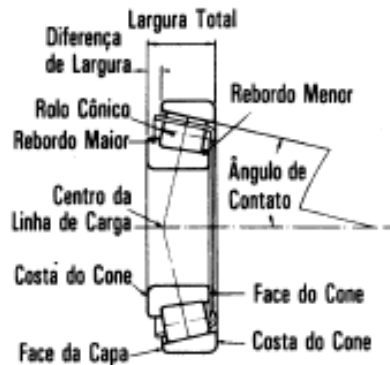
Rolamento Fixo de Uma Carreira de Esferas



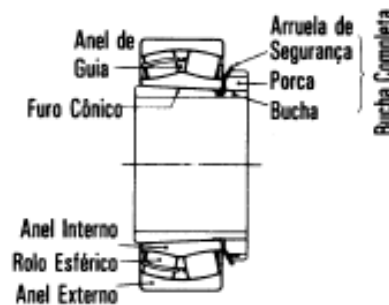
Rolamento de Uma Carreira de Esferas de Contato Angular



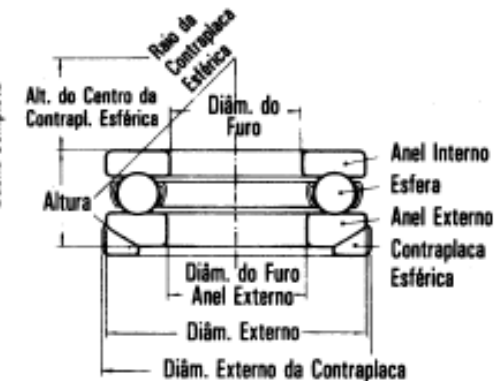
Rolamento de Rolos Cilíndricos



Rolamento de Rolos Cônicos



Rolamento Autocompensador de Rolos



Rolamento Axial de Esferas de Escora Simples

Gaiola



Rebitada



Estampada



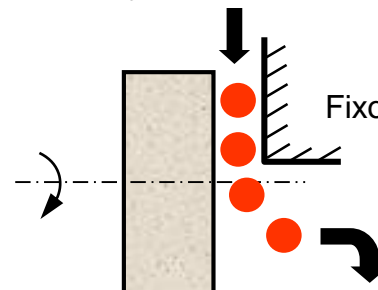
Gaiolas de latão

Fabricação de rolamentos :

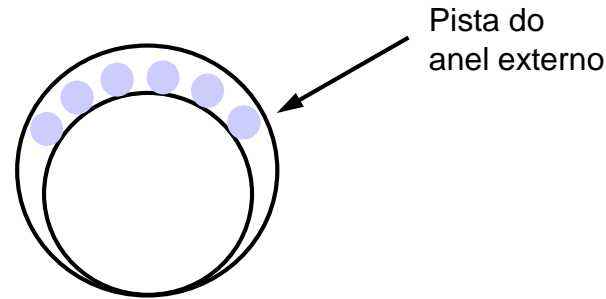
- Material : aço liga Cr-Mn
- Processo :
 - **Anéis** tubo → torneamento → tratamento térmico → retífica → polimento da pista
 - **Elementos** barra → conformação a frio ($d \leq 3/4''$) ou a quente → tratamento térmico → retificação frontal

1ª escolha : diferença máxima 1 [µm] entre elementos

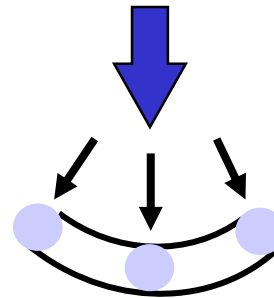
2ª escolha : diferença diâmetro < 1 [µm] (casos especiais de precisão)



Montagem :

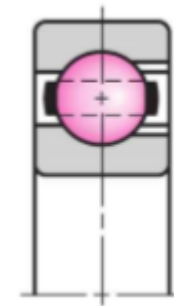


- Inserção é feita sem gaiola.
- Gaiola é rebitada depois.
- Exige grande distância entre esferas.

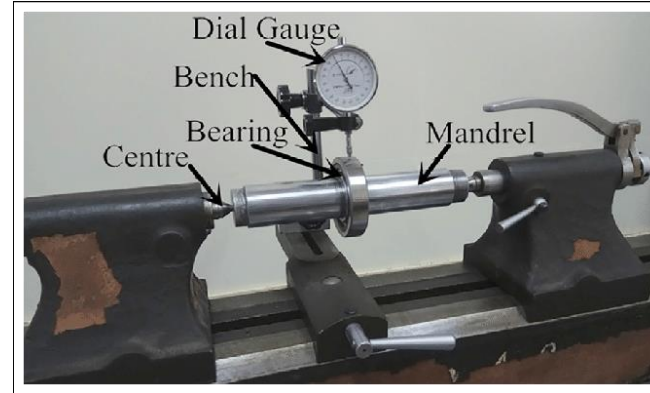
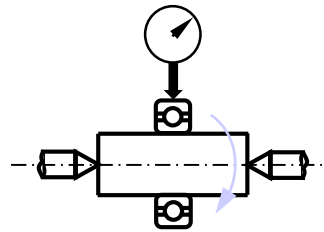


- Mais esferas → Melhor distribuição de esforços
- Rolamentos especiais com maior número de esferas

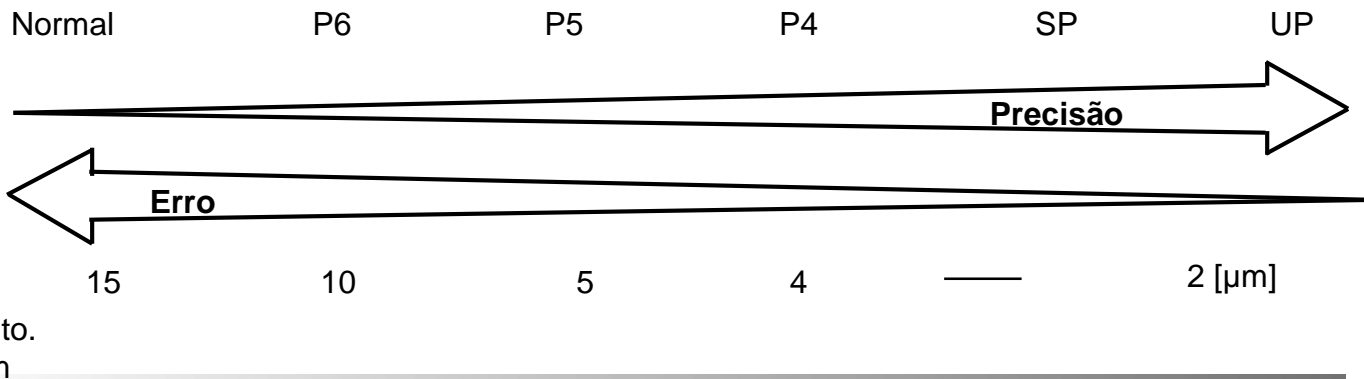
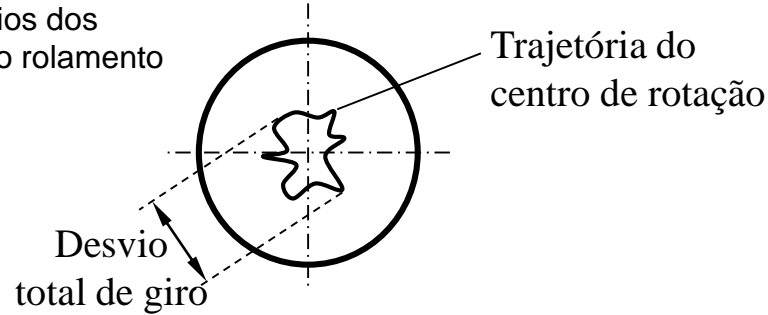
Canaleta no anel interno p/ inserção → menor carga axial



Desvio de batida radial (run out)



Soma dos desvios dos componentes do rolamento

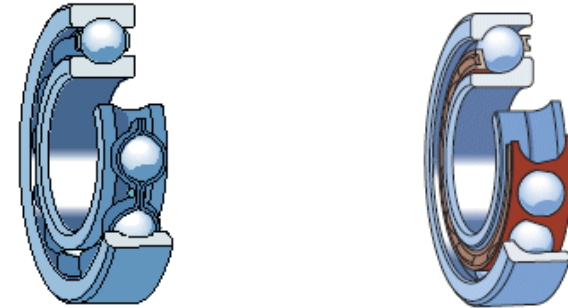


9.3 – Tipos de Rolamentos

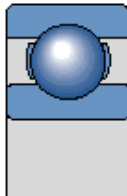
ROLAMENTO RÍGIDO DE ESFERAS

- mais comum, mais barato
- suporta cargas radiais e um pouco de carga axial
- baixo atrito → altas rotações
- cargas leves e médias

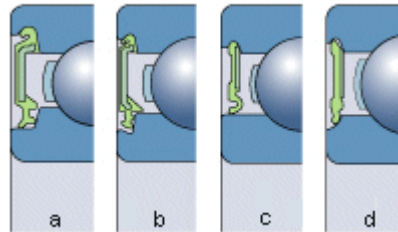
Rolamento rígido de uma carreira de esferas



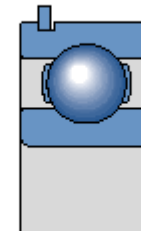
Rolamento do tipo básico aberto



Rolamentos vedados



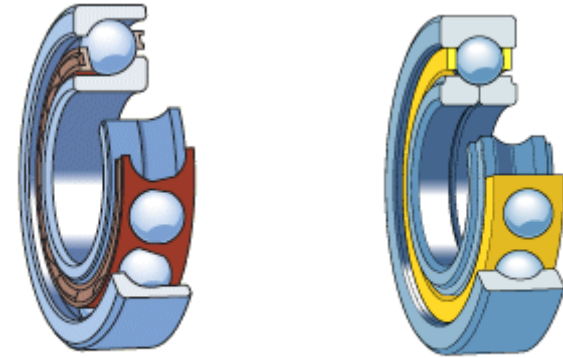
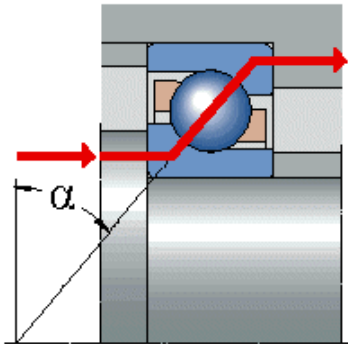
Rolamento com ranhura para anel de retenção e anel de retenção



9.3 – Tipos de Rolamentos

ROLAMENTOS DE CONTATO ANGULAR

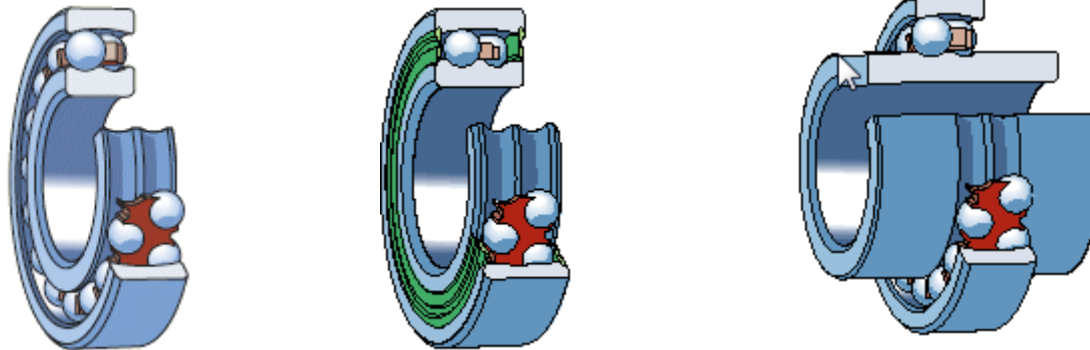
- uso parecido ao anterior
- inclinação do contato aumenta cargas axiais suportadas
- carga axial só num sentido



9.3 – Tipos de Rolamentos

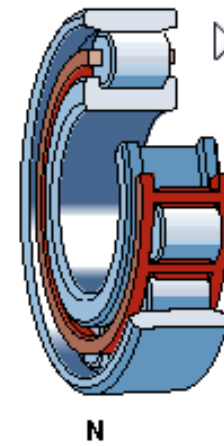
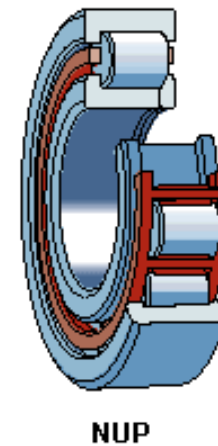
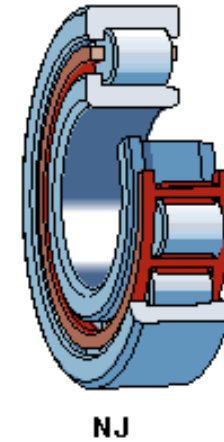
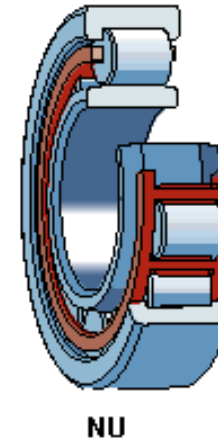
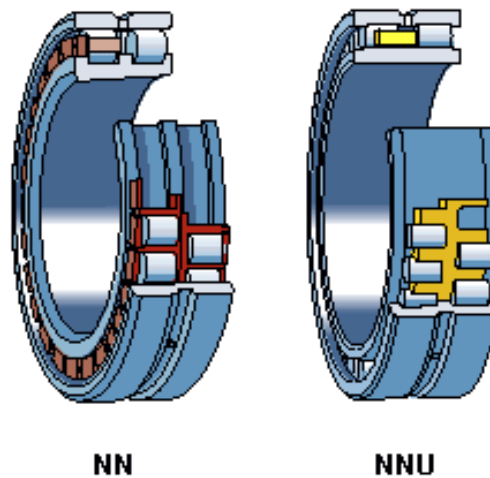
ROLAMENTO AUTOCOMPENSADOR DE ESFERAS

- uma ou duas fileiras de esferas
- compensam desalinhamento angular de até 3 graus
- suporta cargas radiais e axiais leves

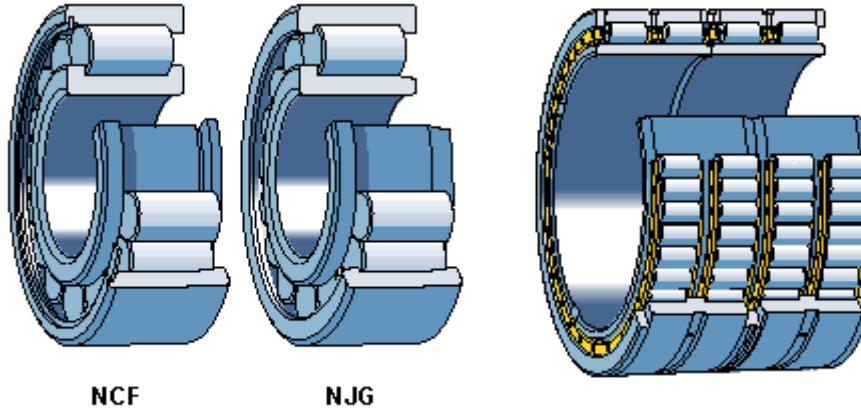


ROLAMENTOS DE ROLOS CILÍNDRICOS

- maior capacidade de carga
- os anéis são separáveis
- com duas flanges não suporta carga axial (N, NU)
- com três flanges → axial em um sentido
- com quatro flanges → axial em dois sentidos

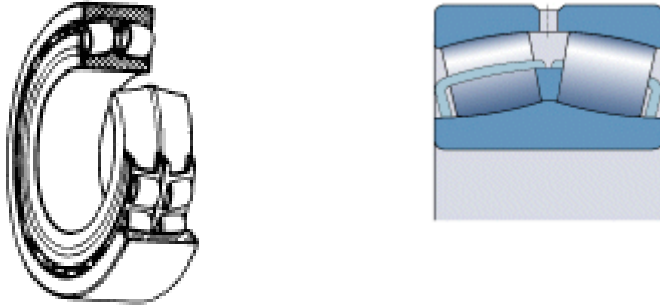


ROLAMENTOS DE ROLOS CILÍNDRICOS



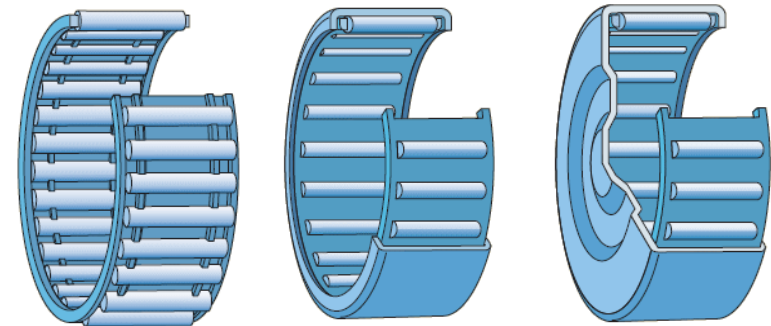
ROLAMENTO AUTOCOMPENSADOR DE ROLOS

- cargas axiais e radiais maiores que anterior



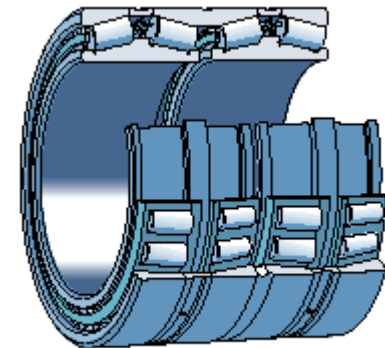
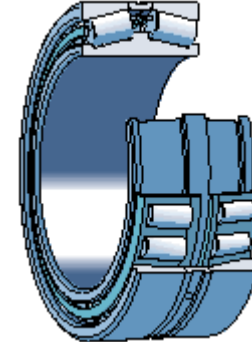
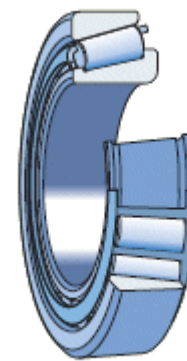
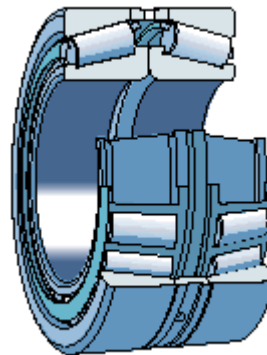
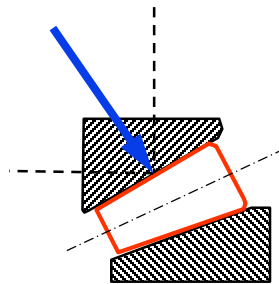
ROLAMENTOS DE AGULHAS

- $d = 1,5 \sim 5 \text{ mm}$, $L = 2,5 \cdot d$
- Usados nos casos de falta de espaço na direção radial
- São separáveis
- Somente carga radial



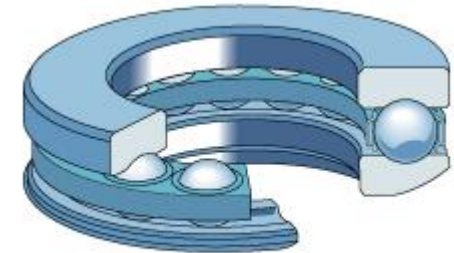
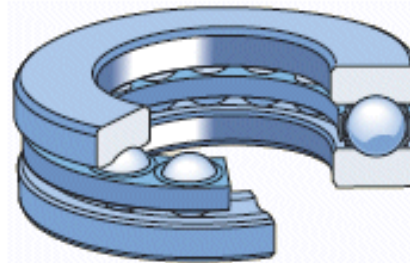
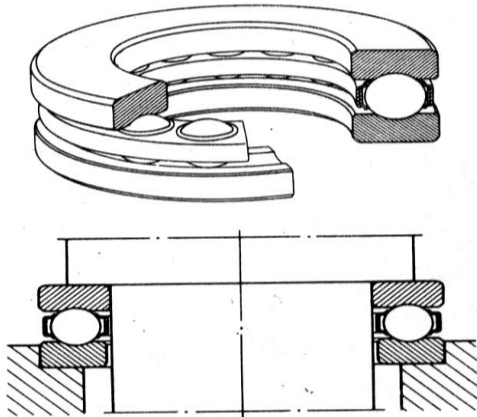
ROLAMENTO DE ROLOS CÔNICOS

- Grandes forças inclinadas $\rightarrow \uparrow F_a, \uparrow F_r$
- São separáveis. Montados aos pares, pois recebem carga axial num só sentido

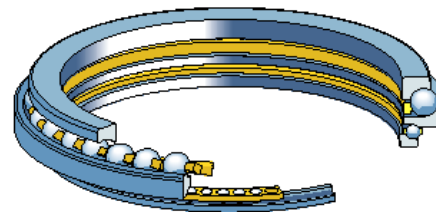
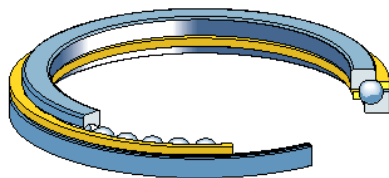


ROLAMENTOS AXIAIS DE ESFERAS

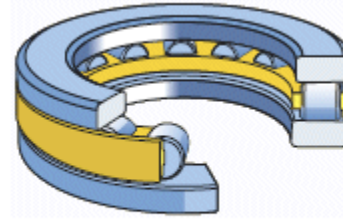
- Somente cargas axiais num só sentido
- Anel do eixo tem d menor
- Anel da caixa tem D maior



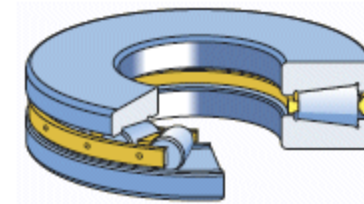
ROLAMENTOS AXIAIS DE ESFERAS DE CONTATO ANGULAR



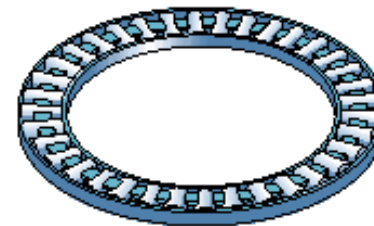
ROLAMENTOS AXIAIS DE ROLOS CILINDRICOS



ROLAMENTOS AXIAIS DE ROLOS CÔNICOS

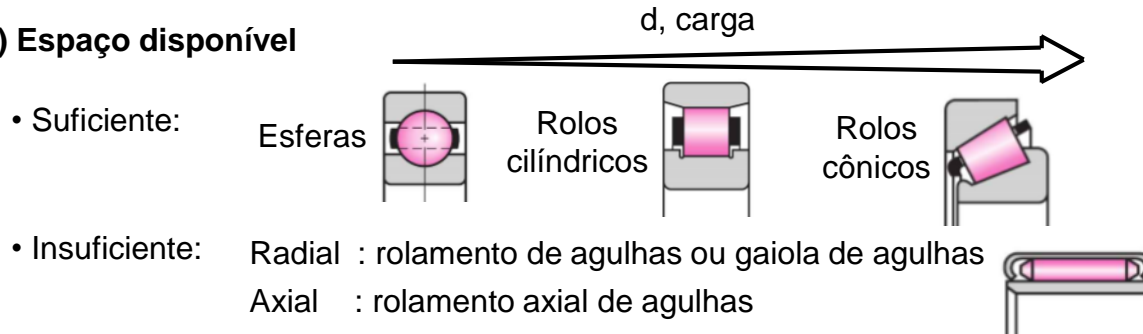


ROLAMENTOS AXIAIS DE ROLOS DE AGULHAS



9.4 – Seleção de Rolamentos

a) Espaço disponível



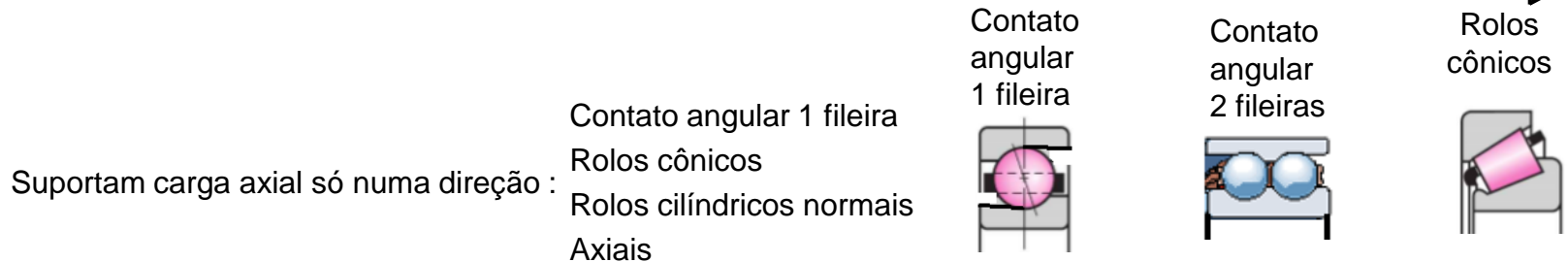
b) Carga

- Magnitude: Cargas leves / médias **rolamento rígido de esferas**
Cargas médias / pesadas **rolamento de rolos cilíndricos**
- Direção
 - Rolamentos de rolos sem flanges e de agulhas: **só carga radial**
 - Todos os demais suportam $F_a + F_r$ até certo ponto
 - Cargas combinadas :

Leves → rígido de esferas

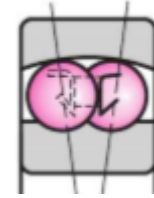
Médios / pesados →

$$F_a + F_r$$



c) Desalinhamento angular

- Rolamentos autocompensadores (cada tipo tem desalinhamento máximo suportado)



d) Rotação

- Rolamentos pequenos chegam a 40000 [rpm]
- Cargas radiais → máxima rotação com rolamento rígido de esferas
- Cargas combinadas → contato angular de esferas

e) Precisão

- Rolamentos com folga pequena ou pré-carga
- Máquinas de precisão (alta rotação) → classes P4, SP e UP

f) Funcionamento silencioso

- Mais silencioso → rolamento rígido de esferas

g) Rigidez – de 30 a 150 [Kgf/ μm]

- Rolos são mais rígidos que esferas
- Importante em equipamentos de precisão e máquinas ferramentas
- Pré-carga aumenta rigidez → aumenta número de esferas efetivas ativas

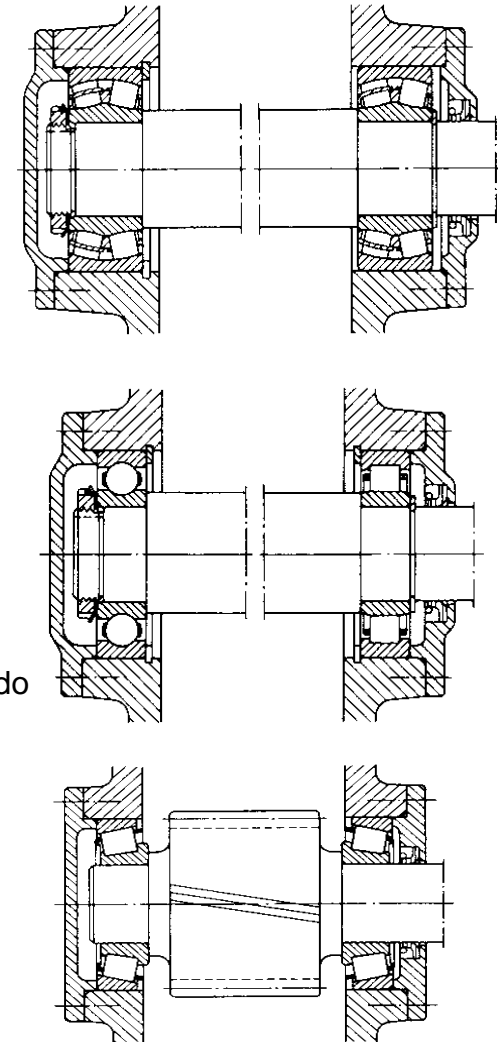
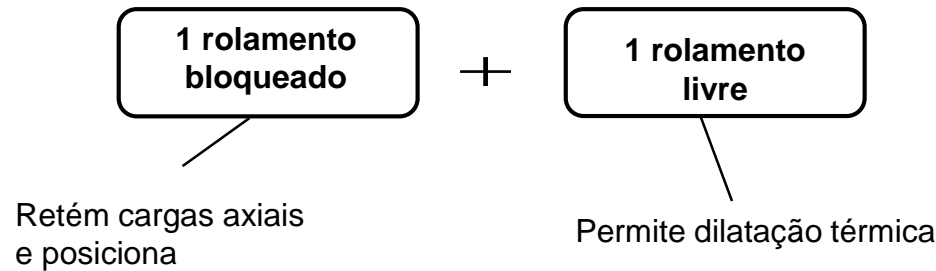
h) Facilidade de montagem

- Rolamentos separáveis
- Furo cônico

9.5 – Aplicação de Rolamentos

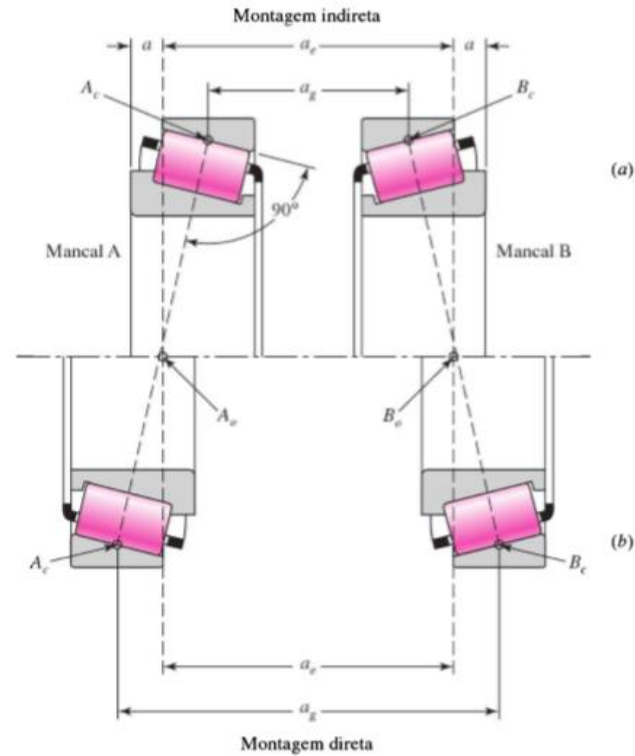
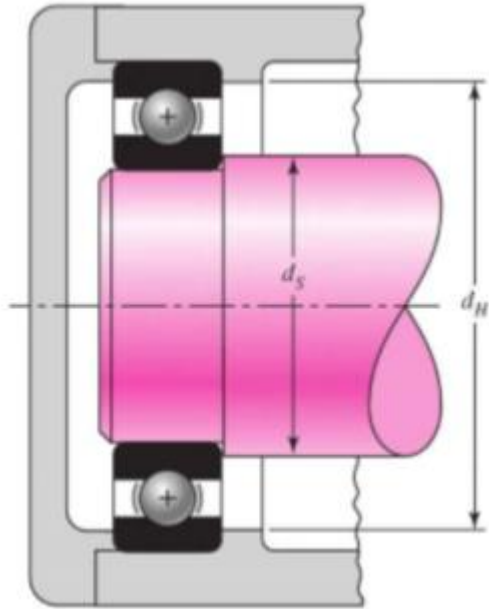
9.5.1 – Fixação Axial

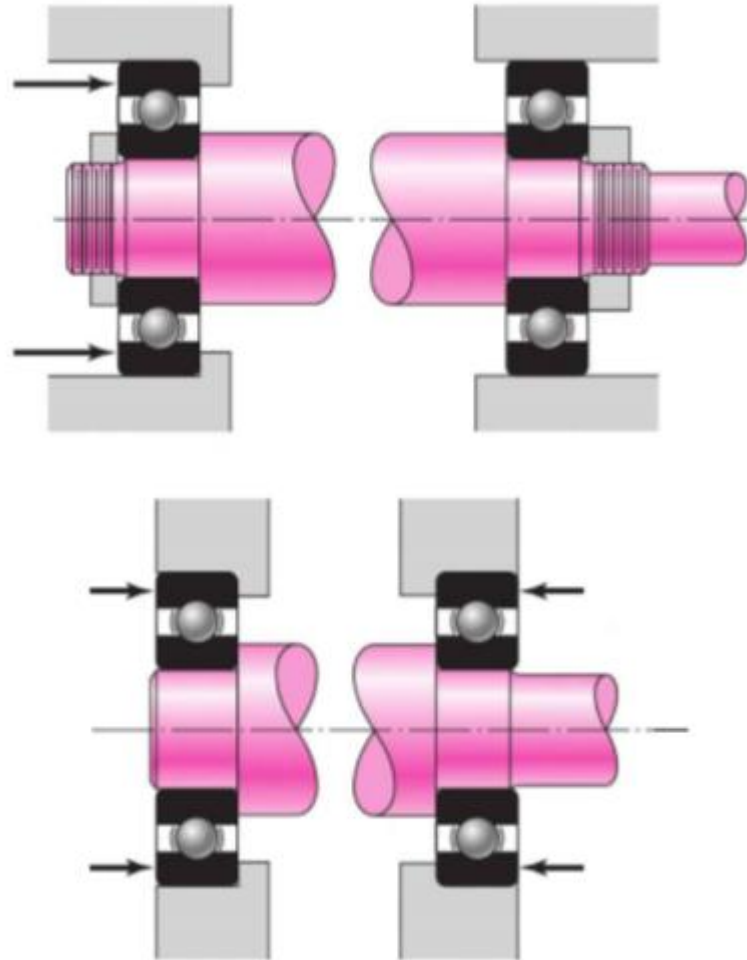
Princípio básico :

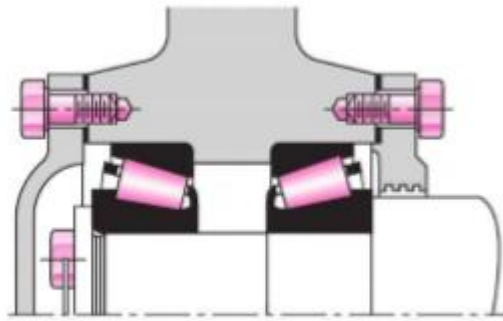


Rolamento bloqueado

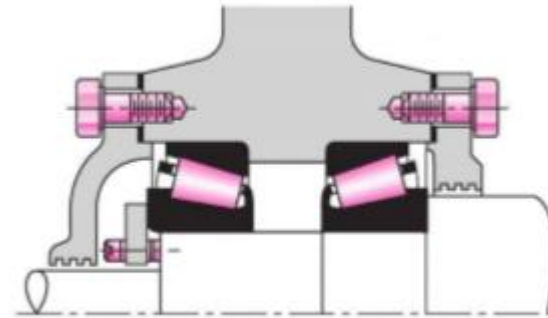
- necessariamente tipo que suporte cargas axiais
- deve ser o mancal mais próximo da carga axial
- só em casos especiais de ausência de F_{axial} dispensa-se o rolamento bloqueado
- Alguns casos há bloqueio duplo:
 - eixos curtos
 - ausência de dilatação
 - prevê-se folga mínima de projeto
 - controle de aperto com torquímetro
 - montagem na temperatura de trabalho



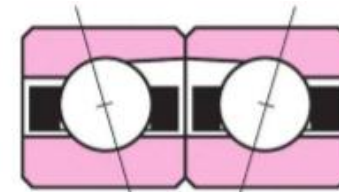
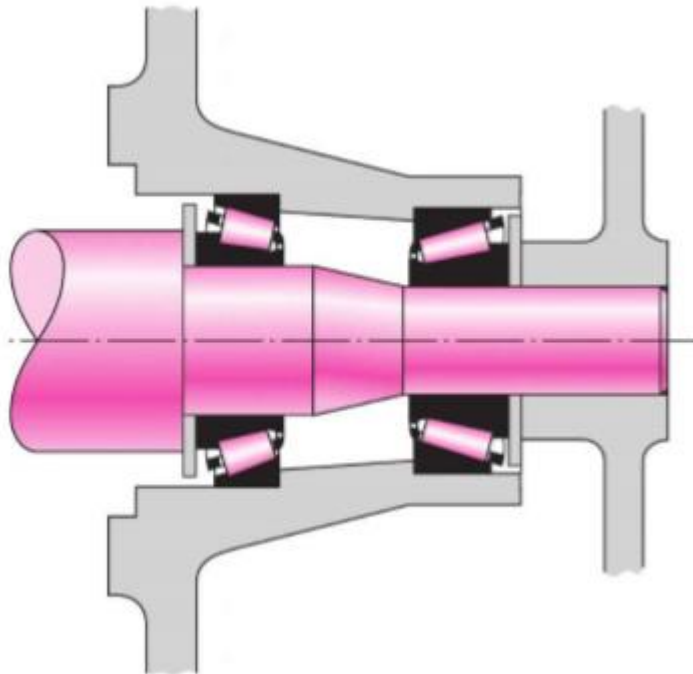




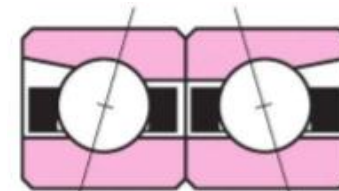
(a)



(b)



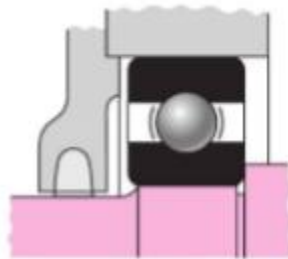
(a)



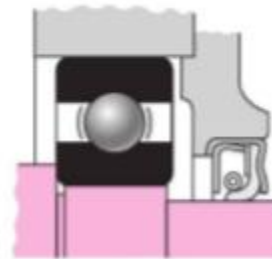
(b)



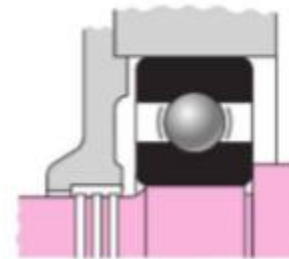
(c)



(a) Vedação de feltro



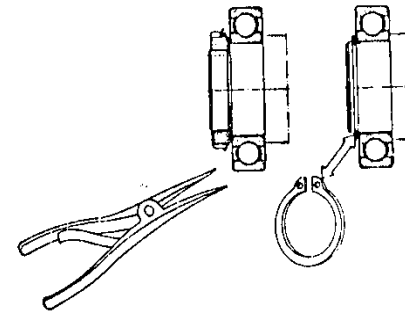
(b) Vedação comercial



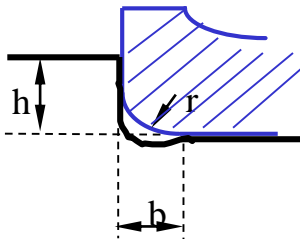
(c) Vedação de labirinto

Fixação axial do anel interno :

- Furo cilíndrico
- Furo cônico



Assentos dos rolamentos devem ser usinados ou retificados se possível → tirar erros de forma



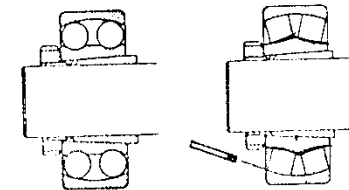
Canal dá melhor assento e saída de rebolo

$$b = (1.0 \sim 1.5) \cdot r$$

$$h_{\min} = (2.0 \sim 3.0) \cdot r$$

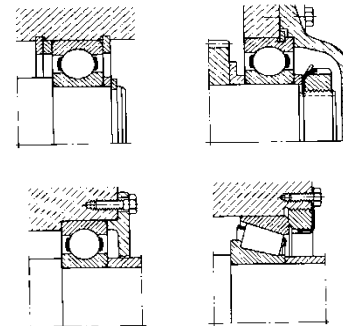
r Catálogo de rolamento

Observar fadiga!!



Fixação axial do anel externo:

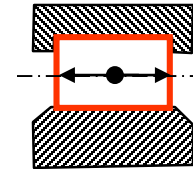
- Anel elástico
- Porca
- Tampa



Rolamento Livre

- Os rolamentos de rolos cilíndricos e de agulhas permitem deslocamento axial dentro do rolamento → ambos os anéis podem ser presos ou montados com interferência mesmo no rolamento livre.
- Nos outros casos um dos anéis tem que ser livre (montado com ajuste indeterminado com tendência à folga).

anel sob carga giratória → interferência

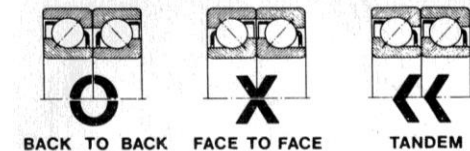


Forças axiais elevadas ou predominantes

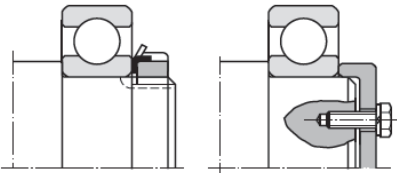
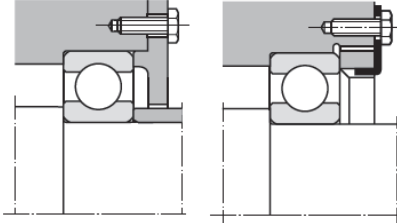
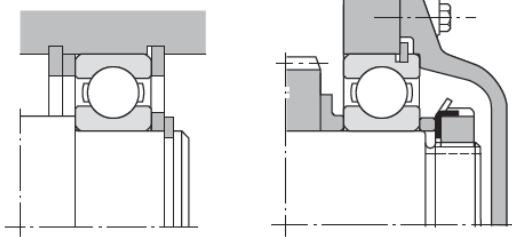
- Separar as ações e usar 1 rolamento específico para cargas axiais e 2 rolamentos radiais.
- Para cargas médias o “rol. específico” pode ser um que suporte carga combinada montado com grande folga radial → só recebe F_{ax} .

Montagens especiais (F_{ax} elevadas)

- “O” F_{ax} elevadas 2 sentidos, oferece momento de reação de vínculo
- “X” F_{ax} elevadas 2 sentidos
- “TANDEM” F_{ax} muito elevada em 1 sentido, são rolamentos especiais para montagem aos pares.
- Rolamentos de rolos cônicos também podem ser montados em O, X e TANDEM

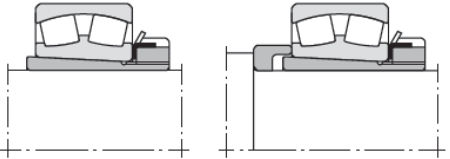
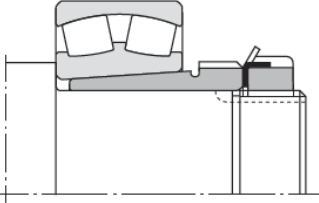
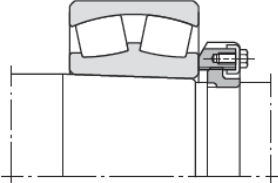


Fixações axiais

Fixação do anel interno	Fixação do anel externo	Anel elástico
		
<p>O método mais comum de fixação de rolamentos é utilizar porcas ou parafusos de fixação para segurar a borda do rolamento ou o ombro do alojamento contra a face do anel.</p>		<p>A utilização de anéis elásticos regulamentados sob a norma JIS B 2804, B 2805 e B 2806 facilita muito a construção. Entretanto, a interferência com os chanfros, dimensões de montagem do rolamento e outras especificações relacionadas, devem ser consideradas com muito cuidado.</p> <p>Os anéis elásticos não são apropriados em aplicações que requerem alta precisão e onde recebem altas cargas axiais.</p>

Fonte: www.ntn.com.br/servicos.htm

Fixações axiais

Montagem com uma bucha de montagem	Montagem com uma bucha de desmontagem	Montagem com anel bi-partido
		
<p>Quando se faz a instalação de rolamentos em eixos cilíndricos, buchas de montagem ou buchas de desmontagem podem ser utilizadas para fixar o rolamento axialmente.</p> <p>Fixar o rolamento axialmente por este método depende da fricção entre a bucha e o eixo.</p>		<p>Para a instalação de rolamentos com furos cônicos diretamente sobre o eixo cônico, o rolamento é fixado no lugar com um anel bi-partido montado sobre uma ranhura do eixo, e afixado no lugar com uma porca ou parafuso para anéis bipartidos.</p>

Fonte: www.ntn.com.br/servicos.htm

9.5.2 – Fixação Radial

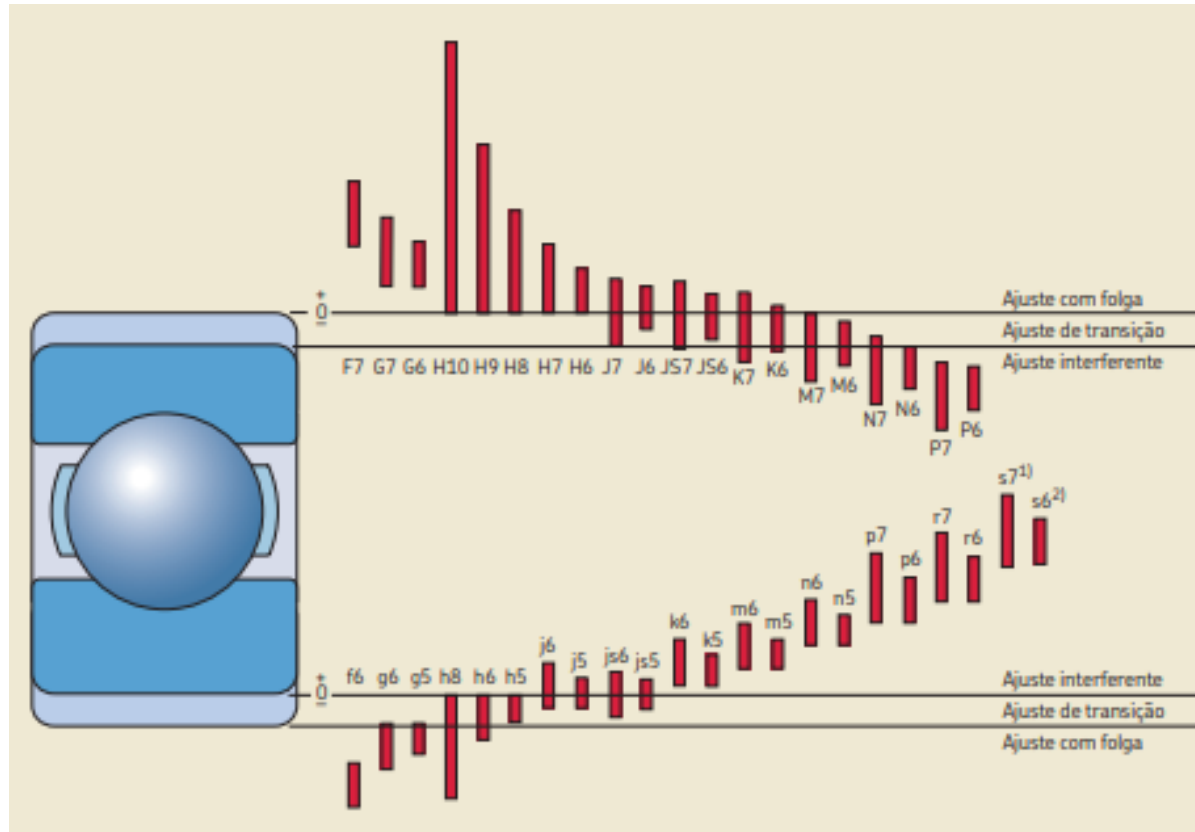
Fixação radial → ajustes indeterminados (de precisão) c/ tendência a folga $H_7g_6; H_7h_6$

c/ tendência a interferência $H_7j_6; H_7k_6; H_7m_6$

carga giratória → ajuste com tendência a interferência

Carga radial e ajuste do rolamento

Ilustração	Rotação do rolamento	Carga do anel	Ajuste
<p>Carga estática</p>	<p>Anel interno: com rotação Anel externo: estacionário</p>	Carga rotativa no anel interno	Anel interno: ajuste por interferência
<p>Carga desbalanceada</p>	<p>Anel interno: estacionário Anel externo: com rotação</p>	Carga estática no anel externo	Anel externo: ajuste com folga
<p>Carga estática</p>	<p>Anel interno: estacionário Anel externo: com rotação</p>	Carga estática no anel interno	Anel interno: Ajuste com folga
<p>Carga desbalanceada</p>	<p>Anel interno: com rotação Anel externo: estacionário</p>	Carga rotativa no anel externo	Anel externo: Ajuste por interferência



Fonte: Catálogo SKF

Folga interna de rolamentos

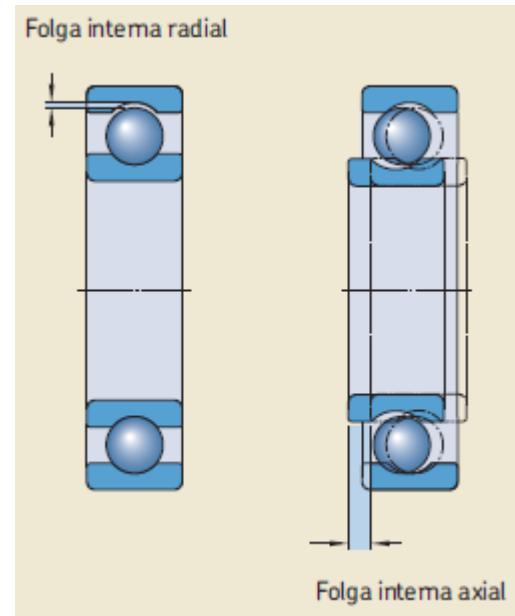
- Folga radial
- Folga axial

Folga ideal : } Bom funcionamento
 Vida longa
 Precisão

Montagem com pré-carga diminui folga

Folga excessiva: Ruído
 Baixa rigidez

Folga insuficiente: vida menor



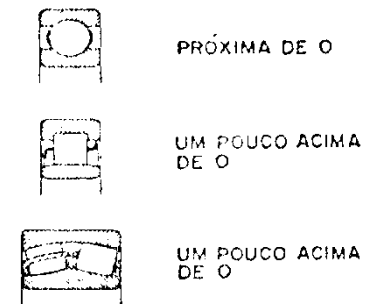
Denominação :

C1	C2	Normal	C3	C4	C5
~	1	8	23	38	55
	a	a	a	a	a
~	15 μm	28	43	61	90

Folga ➔

p/ rolamento esferas d = 50 mm

FOLGA RADIAL



Folga interna inicial exigida

$$r = r_{op} + \Delta r_{fit} + \Delta r_{temp}$$

onde

r = folga interna inicial necessária do rolamento desmontado [mm]

r_{op} = folga operacional desejada [mm]

Δr_{fit} = redução da folga causada pelo ajuste [mm]

Δr_{temp} = redução da folga causada pela diferença de temperatura [mm]

$$\Delta r_{fit} = \Delta_1 f_1 + \Delta_2 f_2$$

onde

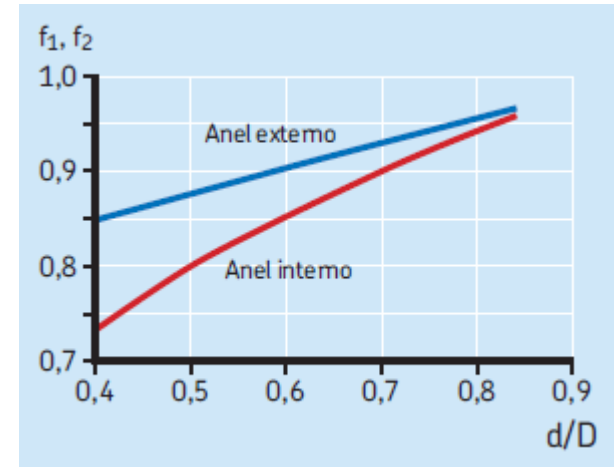
Δr_{fit} = redução da folga causada pelo ajuste [mm]

f_1 = fator de redução para o anel interno

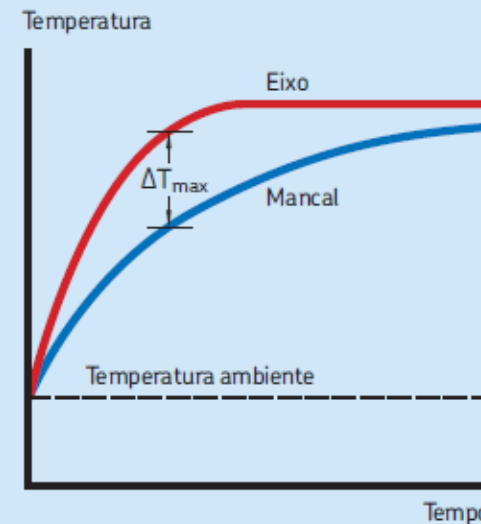
f_2 = fator de redução para o anel externo

Δ_1 = interferência efetiva entre o anel interno e o eixo [mm]

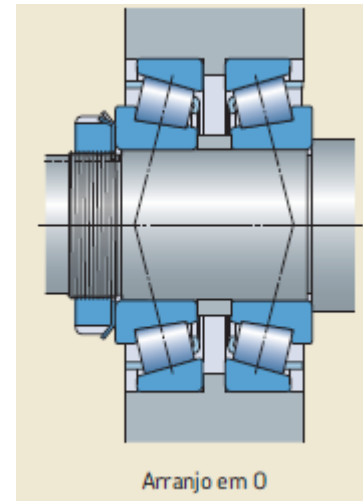
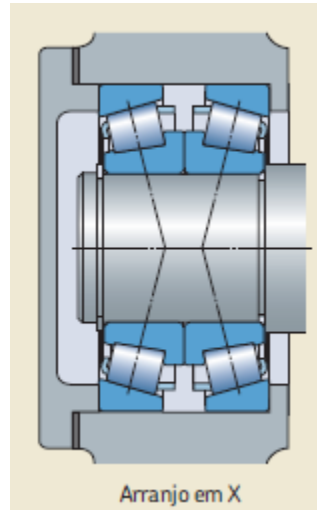
Δ_2 = interferência efetiva entre o anel externo e o mancal [mm]

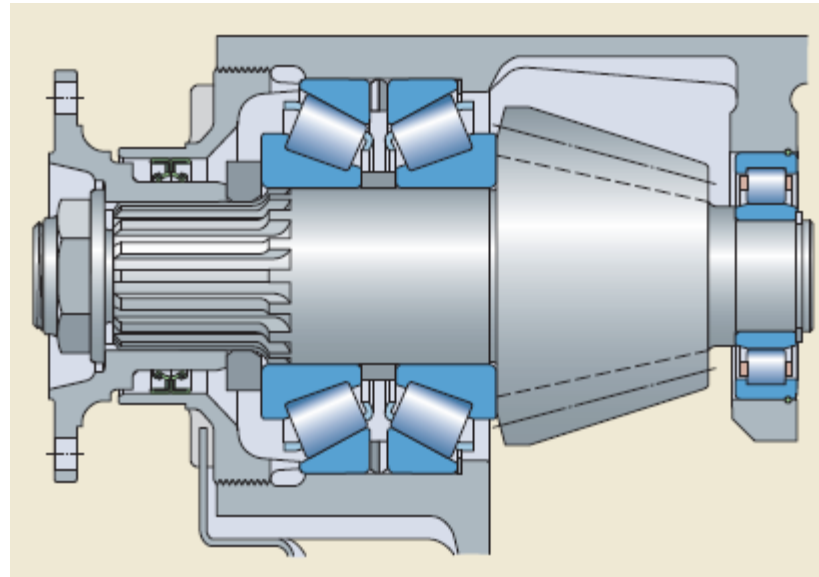


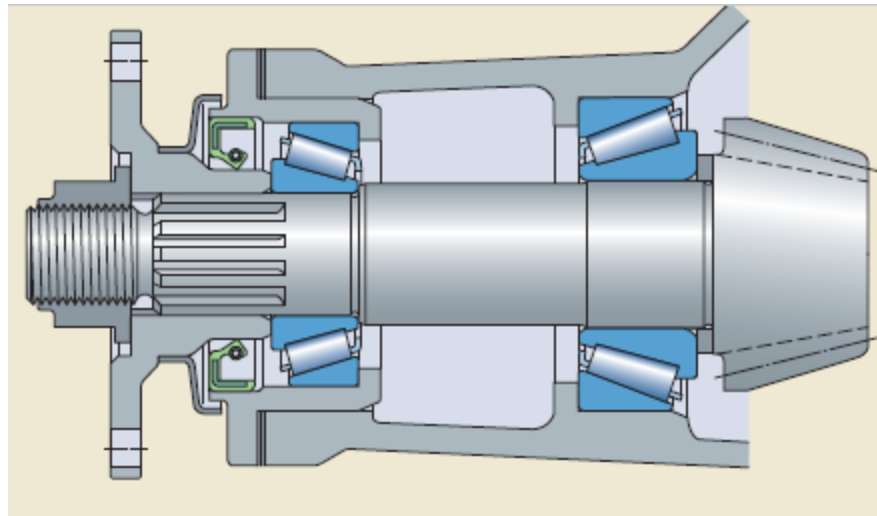
Diferenças de temperatura durante o início de operação

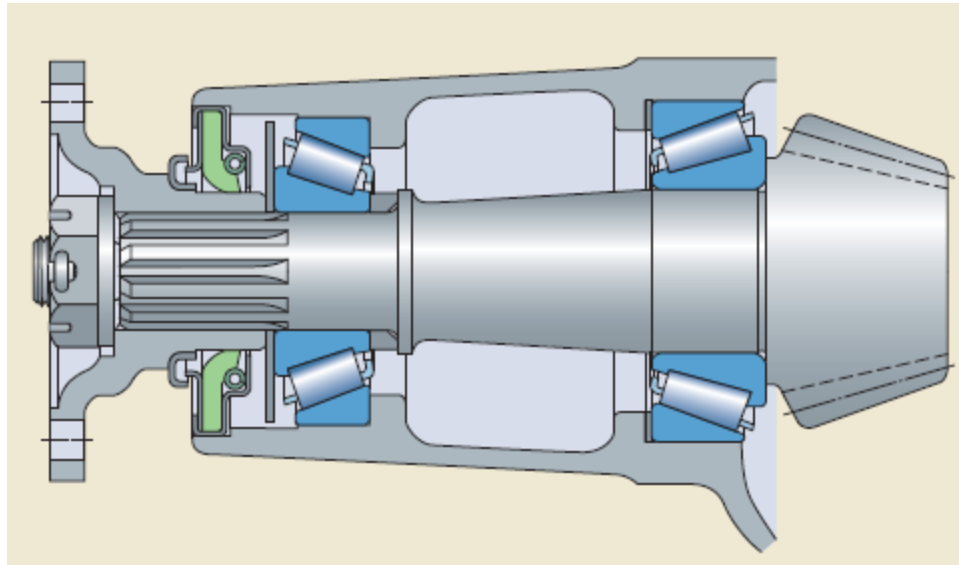


Fonte: Catálogo SKF









Ajustes

	Eixo - H_7^*	Caixa - h_6^*
Indeterminado com tendência à folga	g_6, h_6	F_7, G_7, H_7
Indeterminado com tendência à interferência	j_6, k_6, m_6, n_6	J_7, K_7, M_7
Com interferência	r_6, r_7	P_7

- Para aplicações grosseiras usar até IT8 / IT9
- Consultar sempre Catálogo do Fabricante de rolamentos

d) Temperatura elevada de trabalho

- aumento do furo interno \rightarrow interferência \downarrow (folga \uparrow)
- aumento do diâmetro externo do anel externo interferência \uparrow (folga \downarrow)

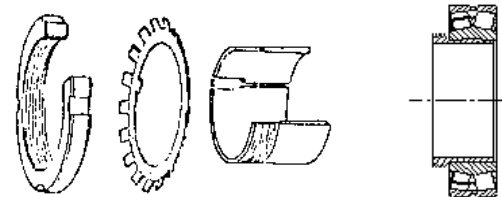
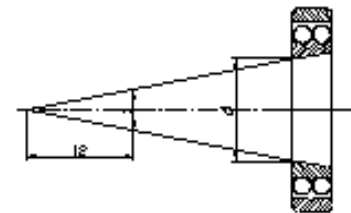
e) Se material / rigidez do eixo e / ou caixa permitirem deformações,

escolher interferência maior para resultar em interferência efetiva adequada

f) Facilidade de montagem / desmontagem \rightarrow ajuste com tendência a folga

Rolamento com furo cônico

- facilita montagem e desmontagem;
- elimina folgas internas;
- controle de torque no aperto de montagem.



Uso de mais de dois rolamentos num só eixo

- Eixos muito esbeltos → uso de rolamento intermediário
- Cálculo → situação hiperestática
- Fabricação → difícil de obter colinearidade de três assentos de mancais.

O do meio pode ter seu assento preenchido, depois, com resina epóxi.

Examinar figuras do catálogo SKF/NSK

Observar : - rolamento selecionados
- montagens

Catálogo geral NSK: http://www.nsk.com.br/7_catalogo.asp

Tipos de rolamentos - projeto e características

A matriz pode oferecer apenas uma orientação aproximada de maneira que em cada caso individual é necessário fazer um mais seleção qualificada referente às informações fornecidas

Símbolos
 +++ excelente - pobre
 ++ bom - não apropriado
 + justo + direção única
 ↔ direção dupla

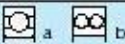
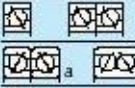











Projeto

- 1 Furo cônico
- 2 Placas de proteção ou vedantes
- 3 Autocompensador
- 4 Não separável
- 5 Separável

Características

Adequação de rolamentos para

- 6 Carga puramente radial
- 7 Carga puramente axial
- 8 Carga combinada
- 9 Carga de momento
- 10 Alta velocidade
- 11 Alta precisão de giro
- 12 Alta rigidez
- 13 Funcionamento silencioso
- 14 Baixa fricção
- 15 Compensação para desalinhamento em funcionamento
- 16 Compensação de erros de alinhamento (inicial)
- 17 Arranjos de rolamentos bloqueados
- 18 Arranjo de rolamentos livres
- 19 Deslocamento axial possível no rolamento

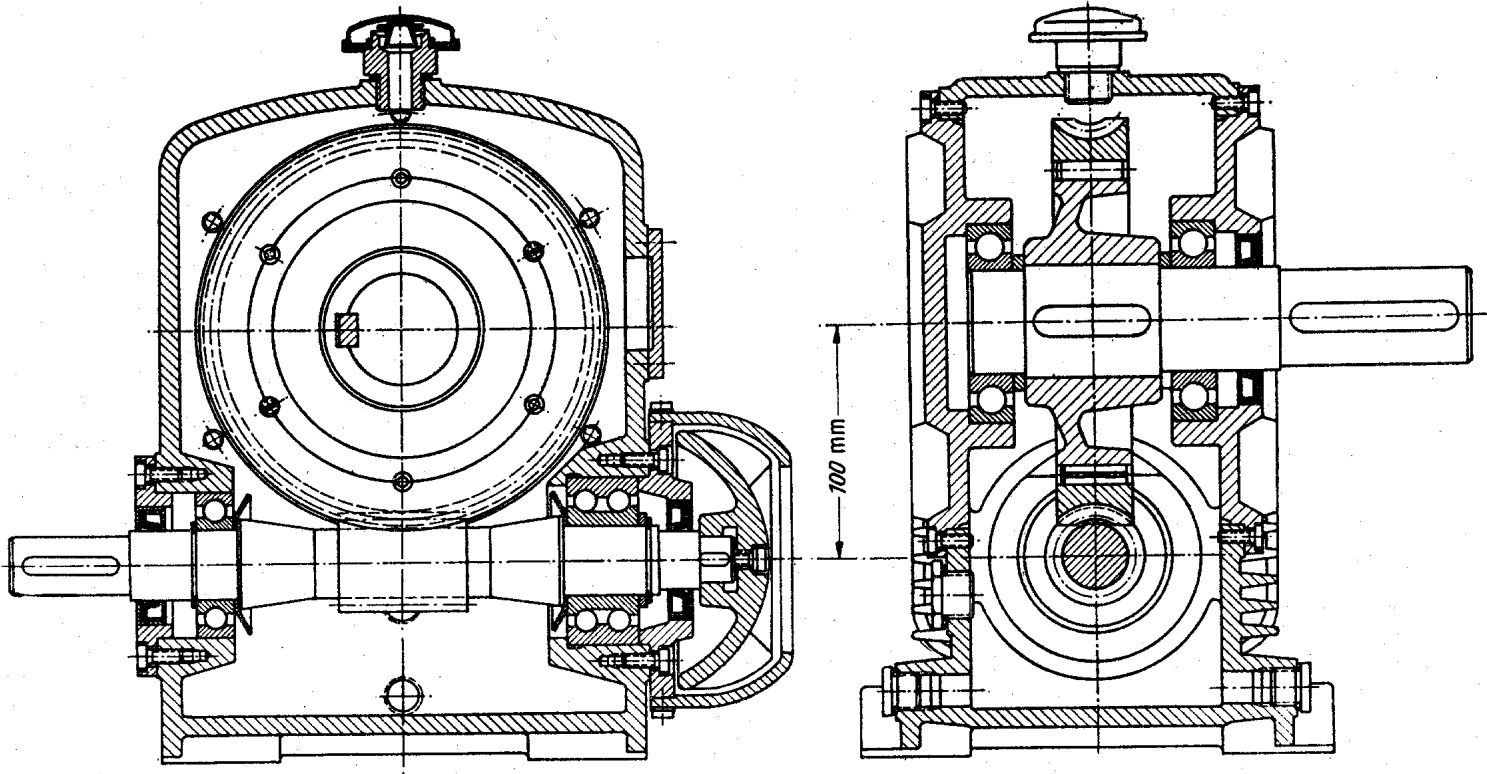
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Rolamentos rígidos de esferas 		a				+	↔	↔	-	+++	+++	+	+++	+++	-	-	↔	+	--
Rolamentos de esferas de contato angular 		b		a,b	c	++	↔	↔	+	+	++	++	+	+	--	--	↔	+	--
Rolamentos autocompensadores de esferas 						+	-	-	--	+++	++	-	++	+++	+++	+++	↔	+	--
Rolamentos de rolos cilíndricos 						++	--	--	--	++	++	++	++	++	-	-	--	+++	+++
conjunto completo de rolos 				a	b	+++	-	↔	--	-	+	+++	-	-	-	-	↔	+	+
Rolamentos de rolos de agulhas 		a	c			++	--	--	--	+	+	+++	+	-	--	--	↔	+++	+++
Rolamentos de rolos cônicos 		b,c				++	--	--	--	+	+	++	+	-	--	--	↔	+++	+++
Rolamentos autocompensadores de rolos 						+++	↔	↔	--	+	+	++	+	+	+++	+++	↔	+	--
Rolamentos CARB 						+++	--	--	--	+	+	++	+	+	+++	+++	--	+++	+++
conjunto completo de rolos 						+++	--	--	--	-	+	+++	+	+	+++	+++	--	+++	+++
Rolamentos axiais de esferas 						--	↔	--	--	-	++	+	-	+	-	--	↔	--	--
Rolamentos axiais de rolos 						--	↔	--	--	-	+	+	-	+	-	--	↔	--	--
Rolamentos axiais de rolos esféricos 						--	+++	+	--	-	+	++	-	+	+++	+++	+++	--	--

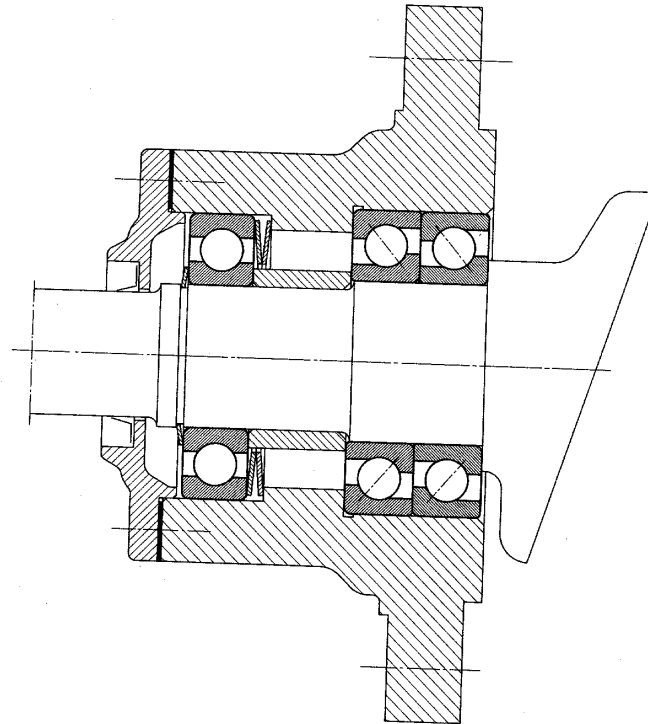
1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS ROLAMENTOS

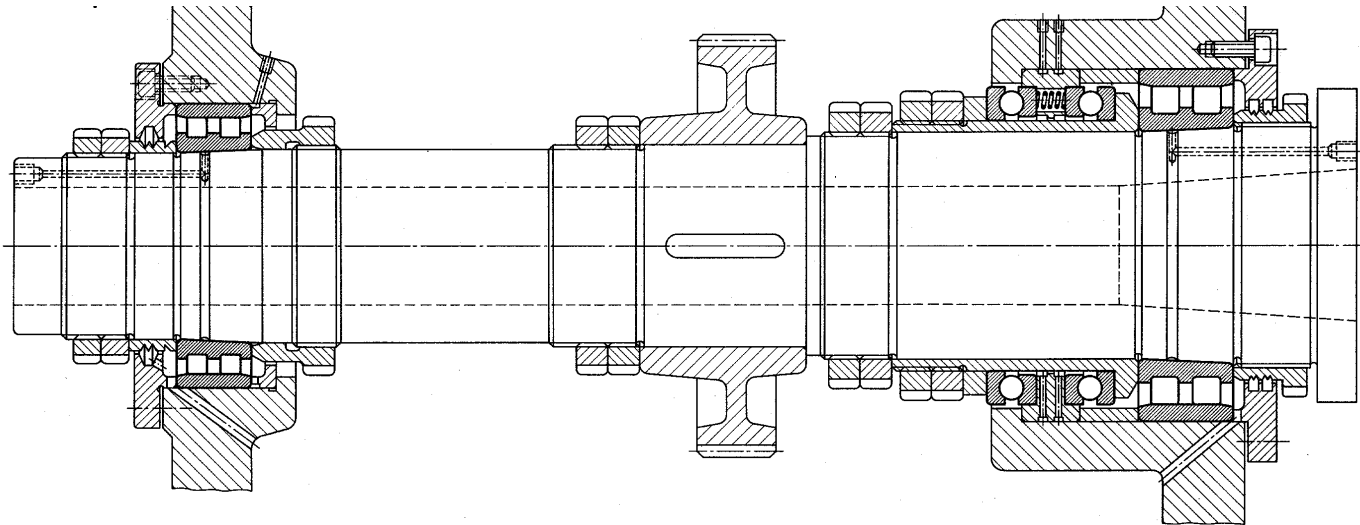
Tabela 1.1 Tipos e Características dos Rolamentos

Tipos de Rolamentos		Fixos de uma carreira de esferas	Mag-neto	Uma carreira de esferas de contato angular	Duas carreiras de esferas de contato angular	Combi-nados	Esfe-ras de Quatro pontos de contato	Auto-compensadores de esferas	Rolos Cilindri-cos	Duas carreiras de rolos Cilindri-cos	Rolos Cilindri-cos com Rebordo em um lado	Rolos Cilindri-cos com anel de encosto	Rolos Aguiha	Rolos Cônicos	Duas e multi-pias carreiras de rolos Cônicos	Auto-compensadores de rolos	Axiais de esfe-ras	Axiais de esfe-ras com contra-pressão esférica	Duas carreiras de esfe-ras de contato angular	Axiais de Rolos Cilindri-cos	Axiais de Rolos Cônicos	Axiais auto-compensadores de rolos	Refe-rência na Página
Características																							
Capacidade de carga	Carga Radial																						
	Carga Axial																						
	Carga Combinada																						
Alta Velocidade																						A 18 A 37	
Alta Pressão																							A 19 A 58 A 81
Baixo Torque e Ruído																							A 19
Rigidez																							A 19 A 96
Desalinhamento Permissível																							A 18 Não Distribu- do de cada tipo
Ação de Compensação																							A 18
Separação dos Anéis																							A 19 A 20
Rolamento Lado Fixo																							A 20- A 21
Rolamento lado Livre																							A 20- A 27
Furo Cônico																							A 80 A 118 A 122
Observação		Usa-se duas peças contrapostas	Ângulo de contato de 15°, 25°, 30° e 40°. Duas peças contrapostas, a folga deve ser ajustada		Além disso, existem as combinações DF e DT, mas não permitem uso no lado livre	o ângulo de contato é de 35°		Inclui o tipo N	Inclui o tipo NNU	Inclui o Tipo NF	Inclui o tipo NUP		Usa-se duas peças contrapostas, a folga deve ser ajustada	Além disso, existem tipos KH e KV, mas igualmente não permitem uso no lado livre						Inclui os Rolamentos axiais de rolos Aguiha		Usados com lubrifi- cação a óleo	

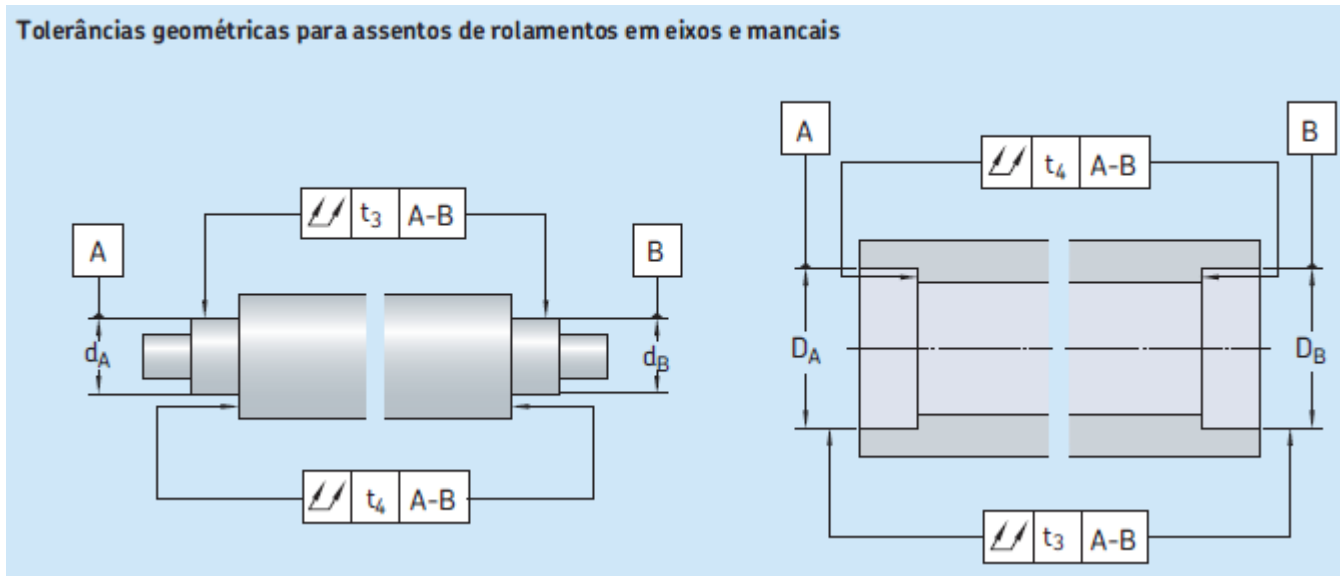
Muito Bom
 Bom
 Regular
 Precário
 Inviável
 Somente em um sentido
 Dois sentidos
 Aplicável
 Aplicável, porém deve permitir a fuga da dilatação ou contração do eixo na superfície de ajuste do rolamento





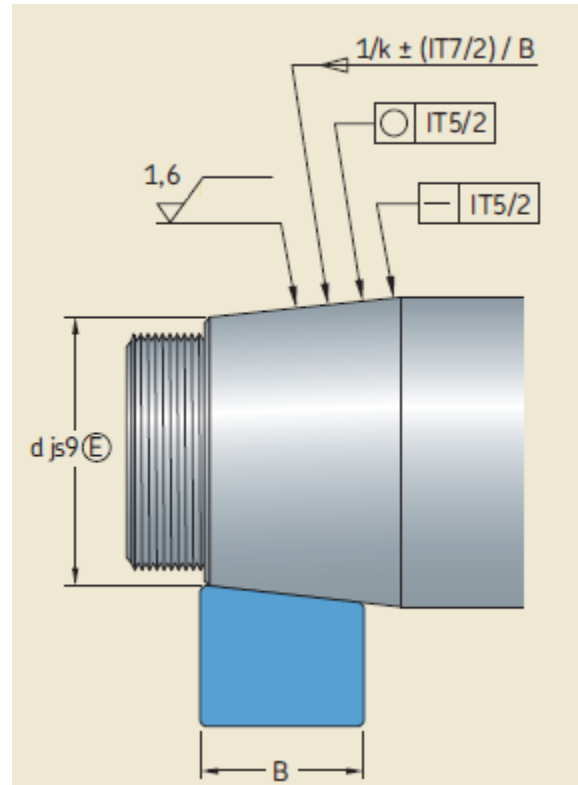


9.5.3 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO



zona de tolerância	Desvios permitidos		
	Rolamentos da classe de tolerância ¹⁾		
	Normal, CLN	P6	P5
t ₃	IT5/2	IT4/2	IT3/2
t ₄	IT5	IT4	IT3

Tolerâncias para assento cônico



Rugosidade dos assentos de rolamentos

Rugosidade superficial de assentos de rolamentos				
Diâmetro do assento		Valor de R_a recomendado para ajustes retificados		
d (D)¹⁾	a	Grau de tolerância do diâmetro		
de	incl.	IT7	IT6	IT5
mm		μm		
–	80	1,6	0,8	0,4
80	500	1,6	1,6	0,8
500	1 250	3,2 ²⁾	1,6	1,6