

# ELEMENTOS DE MÁQUINAS (SEM 0241)

Notas de Aulas  
v.2023

## *Aula 10 – Uniões Eixo-Eixo*

Professores:

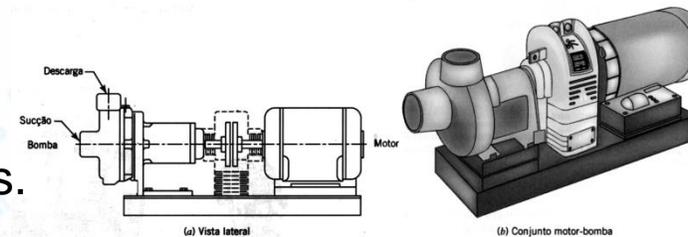
Ernesto Massaroppi Junior  
Jonas de Carvalho  
Carlos Alberto Fortulan

# 10 - Uniões Eixo com Eixo

## 10.1 – Introdução

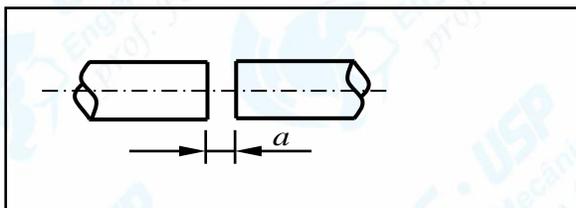
Quando usar acoplamentos :

- unir motor a um equipamento.
- unir os eixos de 2 equipamentos.
- unir 1 eixo feito em duas partes
- por necessidades construtivas.

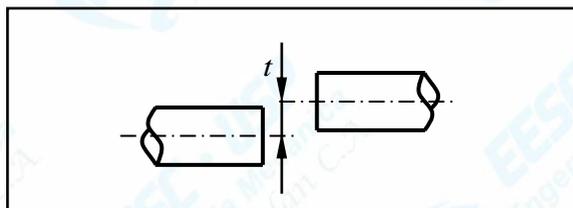


Fonte: JUVINAL, R.C. Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas. LTC 2008.

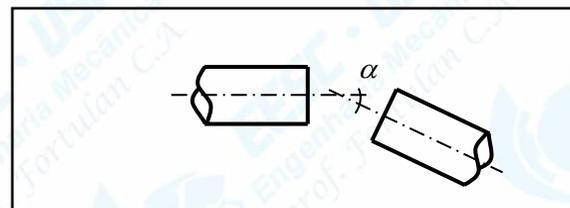
## Desalinhamentos



Axial  
1 a 15 [mm]



Transversal  
0.1 a 2 [mm]

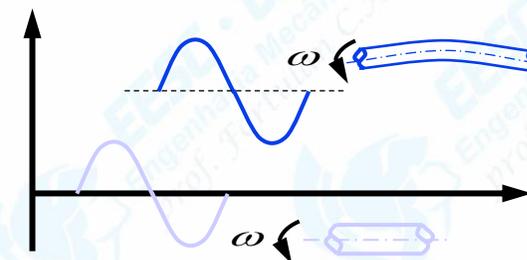


Angular  
1° a 4°

### Problemas trazidos por desalinhamento:

sobrecarga nos mancais → menor vida

- sobrecarga no eixo
- flechas indesejáveis
- vibrações
- $M_t$  variável



# Classificação dos acoplamentos

## I - Acoplamentos Rígidos

- onde não há desalinhamento

## II - Acoplamentos de Compensação

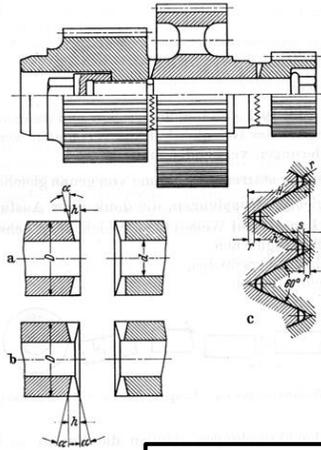
- compensam desalinhamentos
- absorvem choques
- amortecem vibrações ou mudam frequências naturais

## III - Acoplamentos de Engate

- engate / desengate de eixos
- não compensam desalinhamentos.

# 10.2 – Acoplamentos Rígidos

## 10.2.1 – Engrenamento Frontal (Acoplamento Hirth)



- Exige protensão axial, pois há componente axial que tende a afastar as duas partes.
- Dimensões : Tab. 19.2 – Niemann v.2, p.77

Dimensionamento

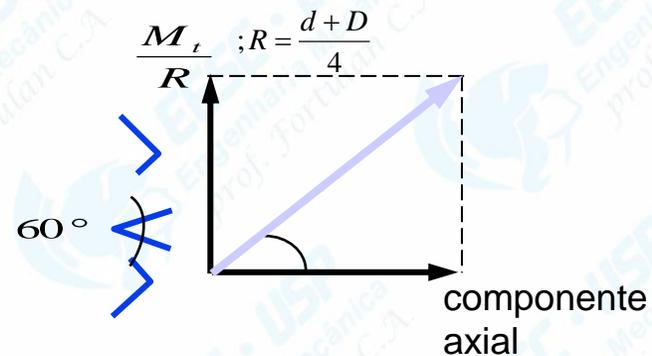
$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} \leq \tau_{adm}$$

$\tau_{adm} \rightarrow$  tabela página 77

$$W_t = \frac{\pi D^3}{16} \left( 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right)$$

Protensão axial necessária :

$$P_a = \frac{M_t}{R} 2 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ$$



## 10.2.2 – Acoplamento fixo por Flanges

- DIN 116 e 760

- Flanges :
  - a) Forjadas nos eixos
  - b) Soldadas
  - c) e d) Montadas

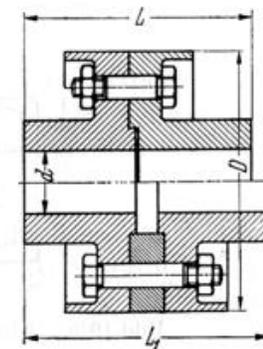
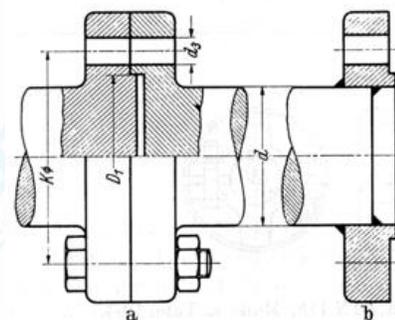
- Centragem é feita :
  - Ressalto com ajuste  $H_7g_6$
  - Anel bipartido

- O momento torçor é transmitido **por atrito**. Os parafusos garantem pressão  $p$ . A força necessária em cada parafuso é :

$$P_p = \frac{2M_t}{D_k \cdot n_p \cdot \mu}$$

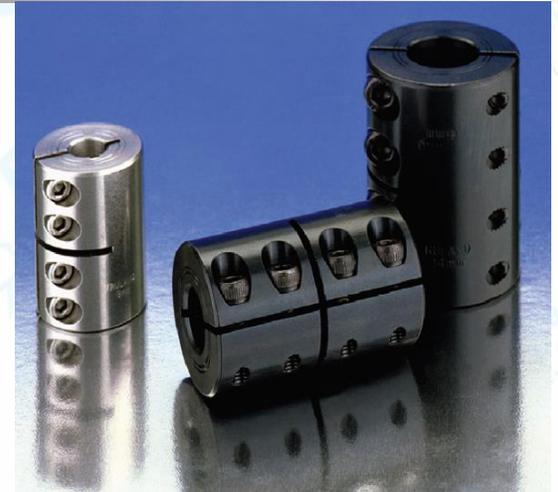
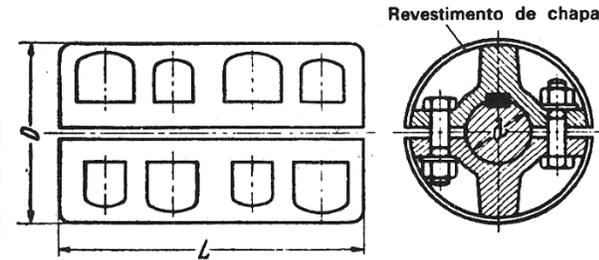
$n_p$  : número de parafusos

$D_k$  : Diâmetro relativo à posição dos parafusos



## 10.2.3 – Acoplamento Fixo Bipartido

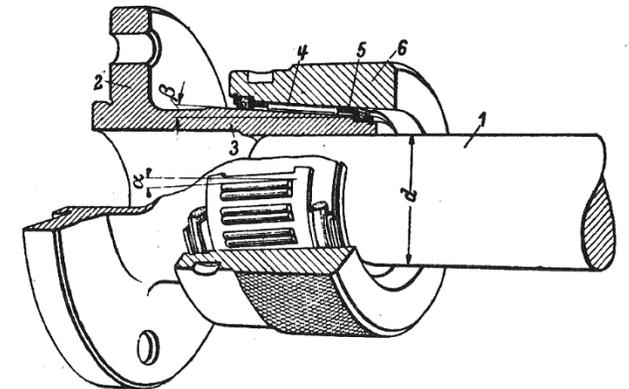
- DIN 115
- Fácil desmontagem
- São calculados da mesma forma que união eixo-cubo bipartida: união por atrito
- Não são recomendados para choques



<http://www.ruland.com>

## 8.2.4 – Acoplamento tipo Stieber

- Só um lado é flangeado
- Interferência longitudinal sem aquecimento
- giro bucha 6 no cubo cônico : obtém alta interferência



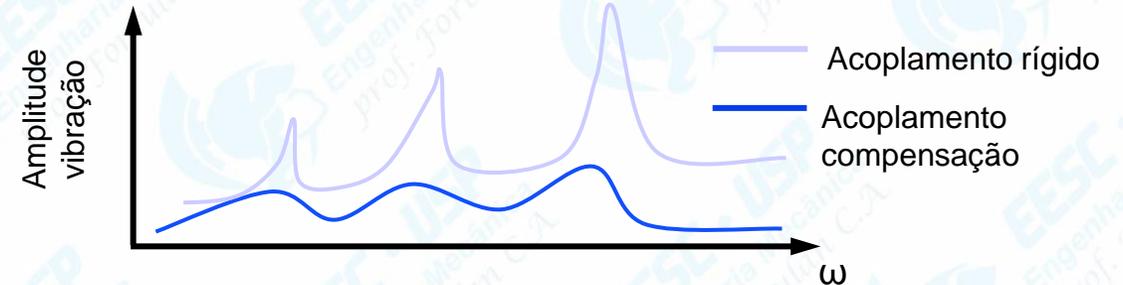
$$M_{t \text{ transm}} = 130 \cdot d^2 \cdot L$$

[Kgf.cm]

NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. 2, p.79

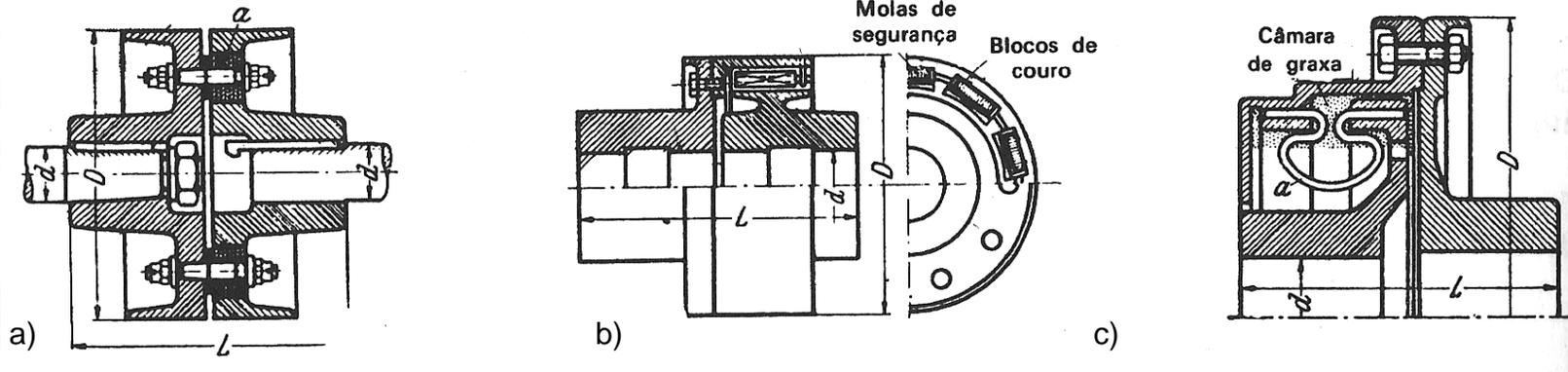
## 10.3 – Acoplamentos de Compensação

- Dependendo do tipo de acoplamento pode compensar os três tipos de desalinhamento.
- Absorvem choques.
- Amortecem vibrações.
- Sintonia de frequências naturais.



### 10.3.1 – Acoplamento de Compensação com Elementos Deformáveis

Formas construtivas :

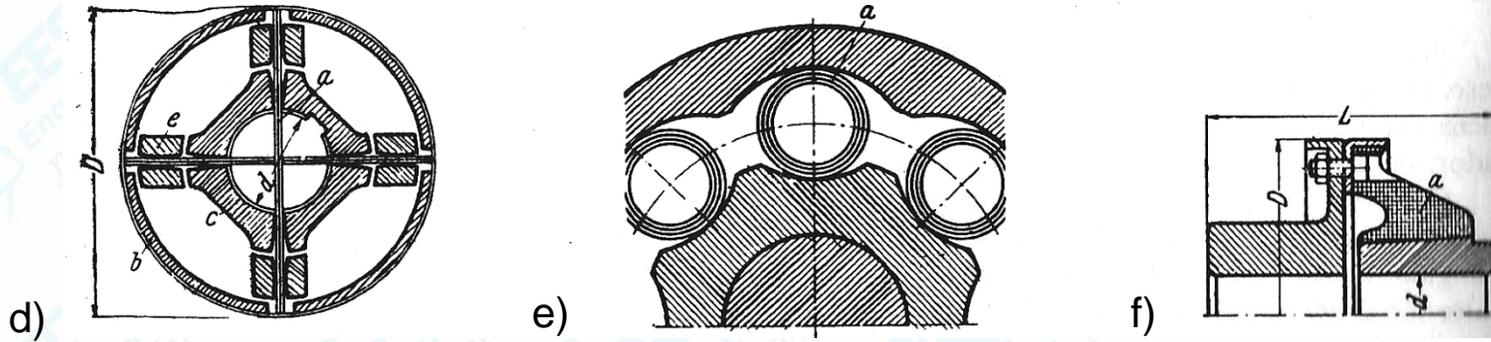


a) Acoplamento de compensação elástica de pinos

b) Acoplamento de compensação VOITH com blocos de couro

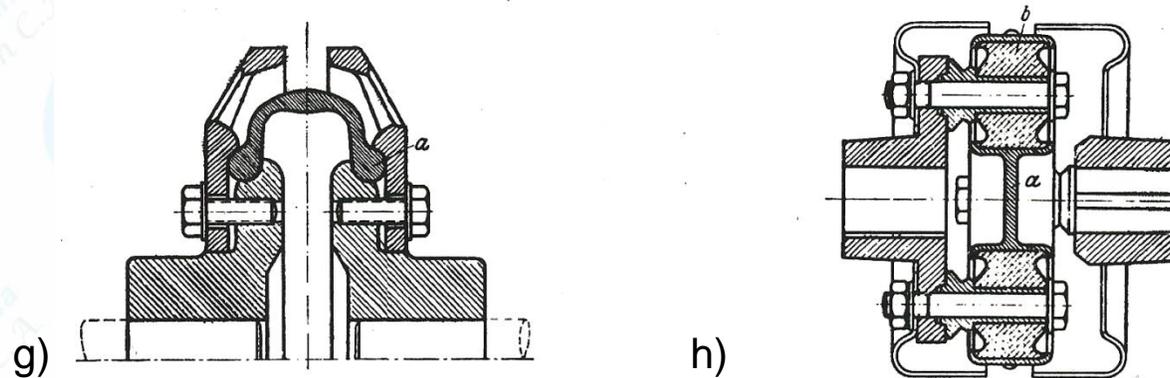
c) Acoplamento de compensação VOITH-MAURER com molas de torção

NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. v2 p80



NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. v2 p80

- d) Acoplamento de compensação AXIEN com molas a flexão e caixa de graxa
- e) Acoplamento de compensação DELI/DEMAG com molas helicoidais
- f) Acoplamento de compensação Perbunan com cubo elástico



NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. v2 p80

- g) Acoplamento de compensação Periflex/STROMAG com anel elástico de borracha
- h) Acoplamento de compensação Silintbloc/BOGE com elementos de borracha

# i – Acoplamento Jaw

- Alta capacidade de torque;
- Isolação elétrica;
- *Spider* substituível.

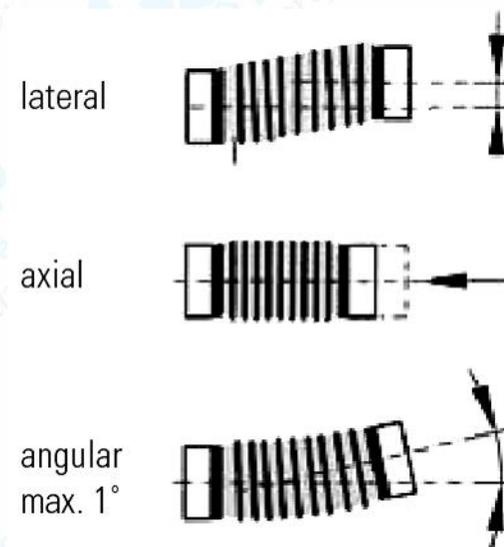


<http://www.ruland.com>

## f – Acoplamento Bellows

- Compensação de desalinhamento axial, transversal (paralelo, lateral) e angular,
- Operação silenciosa e suave
- Alta rigidez torcional.
- Exata (quase) transmissão de movimento angular e torque, zero backlash.
- Longa vida
- Não desgaste de partes
- Fácil desmontagem e montagem
- Baixa rigidez lateral
- Baixo momento de inércia
- Torque de 2 a 500 N.m

[http://www.rw-america.com/bellows\\_couplings/index.html](http://www.rw-america.com/bellows_couplings/index.html)



Torque do acoplamento ( $T_{KN}$ ) x pico de torque do motor  $T_{AS}$ .

$$T_{KN} = 1,5.T_{AS}$$

Torque do acoplamento ( $T_{KN}$ ) em função das acelerações

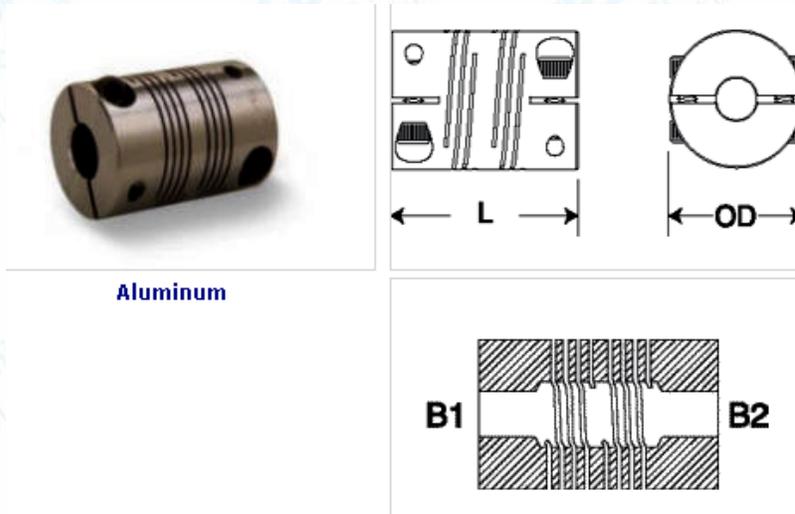
$$T_{KN} = T_{AS} \cdot S_K \cdot \frac{J_L}{J_A + J_L}$$

$T_{AS}$  = máxima aceleração de torque no sistema ou desaceleração da carga; [N.m]

$J_L$  = momento de inércia do eixo, fixação, peça de trabalho e metade do acoplamento; [kg.m<sup>2</sup>]

$J_A$  = momento de inércia do motor [kg.m<sup>2</sup>]

# g – Acoplamento Beam



# Dimensionamento de acoplamentos de compensação com elementos intermediários flexíveis

- Para elementos intermediários de borracha, couro, lona

$$p_{\text{adm}} = 8 \sim 14 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \text{ ( } 0,8 \sim 1,4 \text{ [MPa] )}$$

- Critério de escolha do tipo de acoplamento :

- princípio de funcionamento → tipo de desalinhamento a eliminar, tipo de serviço
- espaço ocupado
- peso próprio ( máquinas leves )
- momento de inércia → muitas paradas / partidas
- facilidade de manutenção
- periculosidade

- Dimensões e verificação

- Usar tabela 19.5 (página 82 , Niemann) , onde :

$$M_{t \text{ nominal}} = 71620 \frac{N}{n} \text{ [Kgf.cm]}$$

$$C = \frac{M_{t \text{ max}}}{M_{t \text{ nom}}}$$

Observar desalinhamentos máximos permissíveis de cada caso.

## 10.3.2 – Acoplamento de Compensação com Elementos Intermediários Rígidos

- Usam movimento de deslizamento relativo para compensar desalinhamentos → uso de lubrificante.

### Formas construtivas

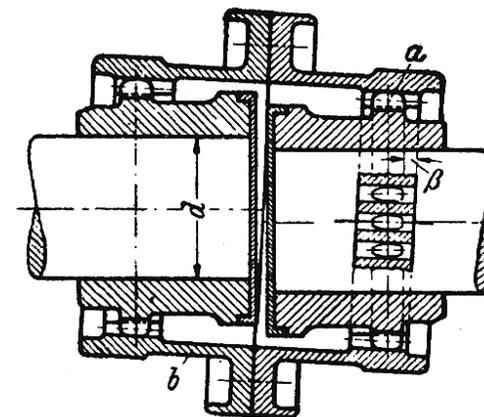
#### a) Acoplamento de compensação TACKE

- elementos com dentes abaulados dentro de lubrificação de óleo
- compensa os três tipos de desalinhamento

### Dimensionamento

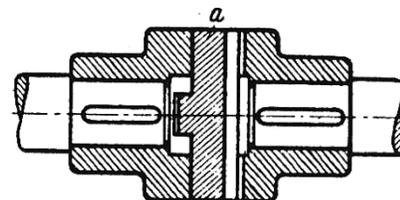
- tabela 19.5
- Os demais dimensionar à pressão específica
- $p_{adm}$  para pares deslizantes :
 

- 30	[Kgf/cm <sup>2</sup> ]	fofo / aço
- 50	[Kgf/cm <sup>2</sup> ]	bronze / aço não temperado
- 90	[Kgf/cm <sup>2</sup> ]	bronze / aço temperado
- 150	[Kgf/cm <sup>2</sup> ]	aço temperado / aço temperado



## b) Acoplamento de compensação OLDHAM

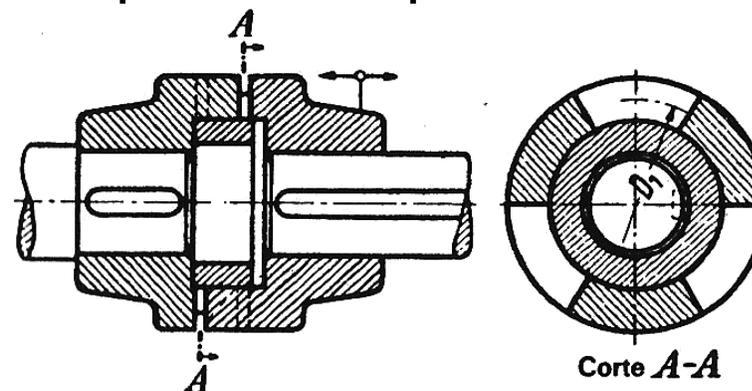
- desalinhamento axial e longitudinal
- alta capacidade de compensar grande desalinhamento transversal.



<http://www.ruland.com>

## c) Acoplamento de compensação com elemento de encaixe tipo estrela

- somente desalinhamento axial
- se o elemento for de borracha é possível suportar um pouco dos outros desalinhamentos.



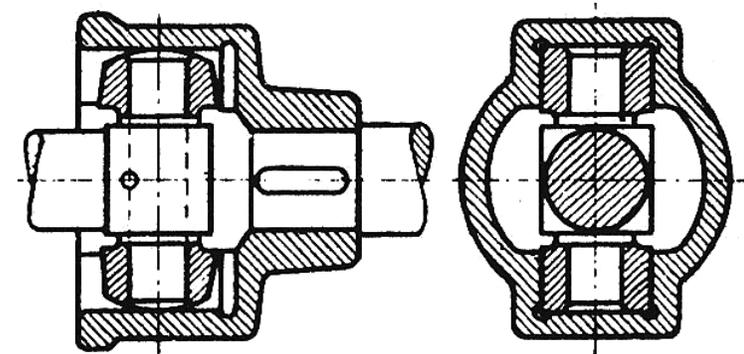
NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. v2 p81

## d) Acoplamento CARDAN

- só desalinhamento angular



<http://www.ordemax.net.br/>



## e – Acoplamento de disco

- alta rigidez torcional



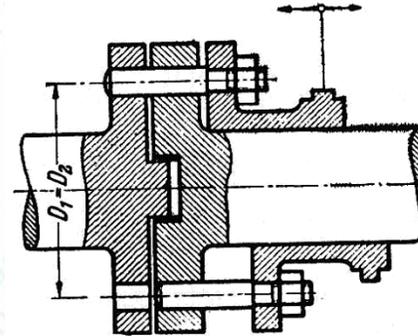
<http://www.ruland.com>

NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. v2 p81

# 10.4 – Acoplamentos de Engate de Eixos

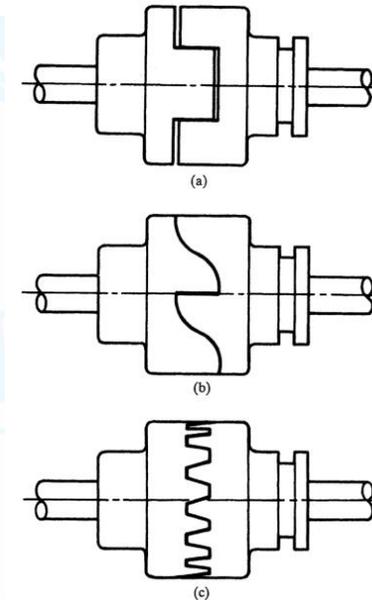
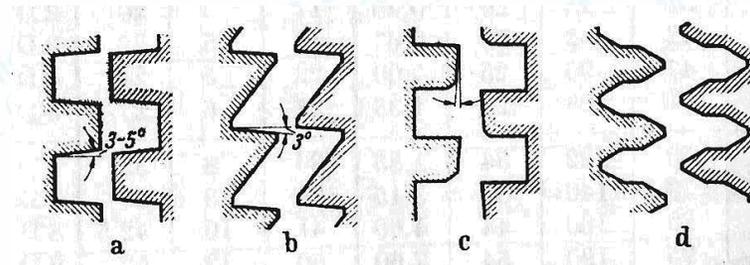
- Acoplamento comum → união eixo / eixo é permanente.
- Acoplamento de engate → união pode ser desengatada (em movimento ou não)

## 1) Acoplamento de engate por pinos



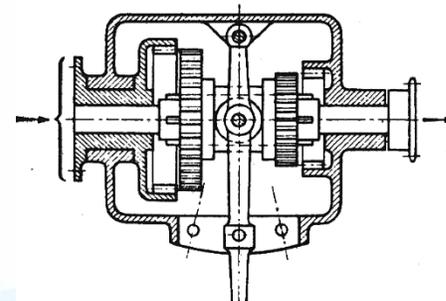
## 2) Acoplamento de engate para dentes frontais

- a) transmite nos dois sentidos
- b) só 1 sentido → segurança contra inversão de movimento
- c) 2 sentidos
- d) facilidade de engate

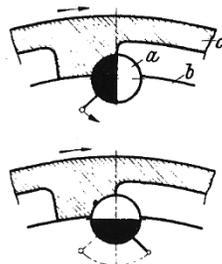


NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. v2 p84

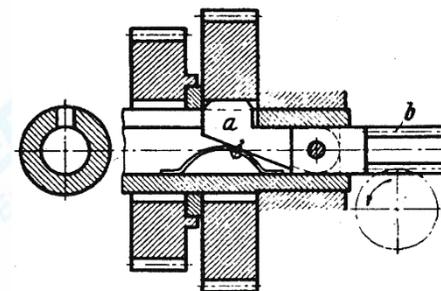
3) Acoplamento de engate por dentes de evolvente



4) Acoplamento de engate por chaveta rotativa



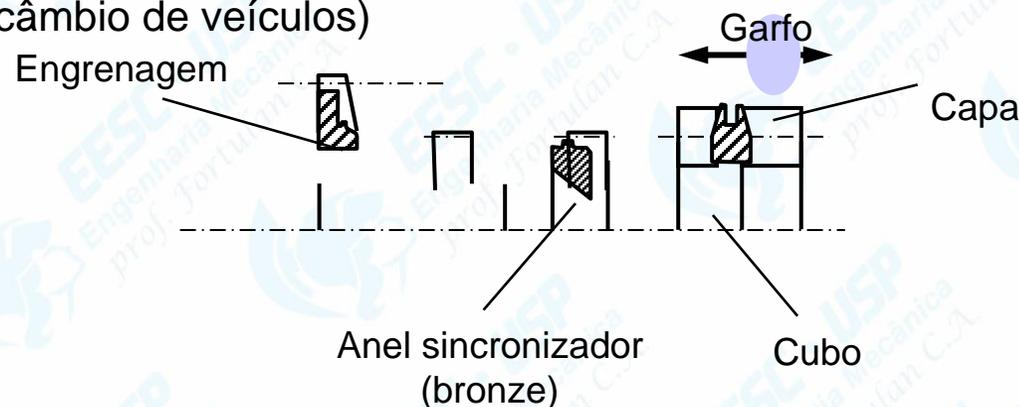
5) Acoplamento de engate por chaveta deslizante



6) Acoplamento RODA LIVRE

- acionamento do engate por força centrífuga

7) Acoplamento de engate por anel sincronizador (câmbio de veículos)



## Comparison of servo couplings on critical performance characteristics

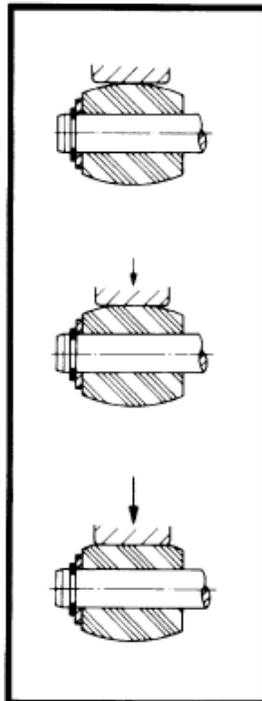
Key: ● Low ● Low to Moderate ● Moderate ● Moderate to High ● High ● Zero

	Torsional rigidity	Torsional strength	Maintenance required	Electrically isolating	Bearing loads	Inertia	Constant Velocity	Zero backlash	Cost	Angular misalignment	Parallel misalignment	Axial motion
Single beam, aluminum	●	●	No	No	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Single beam, stainless steel	●	●	No	No	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Multiple beam, aluminium	●	●	No	No	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Multiple beam, stainless steel	●	●	No	No	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Oldham, zero-backlash disk	●	●	Yes	Yes	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Oldham, compliant insert	●	●	Yes	Yes	●	●	Yes	No	●	●	●	●
Curved, jaw coupling	●	●	Yes	Yes	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Bellows coupling, stainless steel	●	●	No	No	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Bellows coupling, nickel	●	●	No	No	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Rigid coupling, aluminum	●	●	No	No	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Single Disc coupling	●	●	No	No	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●
Double Disc coupling	●	●	No	Yes/No	●	●	Yes	Yes	●	●	●	●

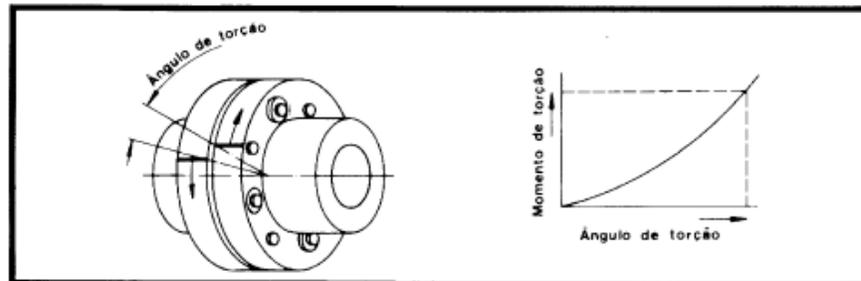
<http://www.ruland.com>

## Catálogo – comercial - Transmotécnica

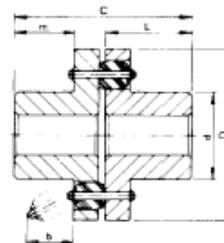
- consiste em dois flanges simétricos inteiramente usinados, pinos de aço com superfícies retificadas e buchas amortecedoras de borracha nitrílica à prova de óleo, fixadas por anéis elásticos.
- absorve vibrações e choques, permite desalinhamento paralelo, angular e axial.
- tem grande elasticidade torcional e não dá origem a forças axiais prejudiciais aos mancais.
- apto para trabalhar em altas e baixas velocidades, em posição horizontal e vertical.
- permite desacoplar os eixos sem remover as máquinas ou o próprio acoplamento, pois os pinos e buchas são removíveis.
- permite remover as máquinas sem deslocá-las longitudinalmente.
- permite substituição das buchas amortecedoras sem desmontagem do próprio acoplamento.
- não requer manutenção, nem lubrificação.
- recomendamos cuidados para proteção contra acidentes.



# TETEFLEX®



### DIMENSÕES



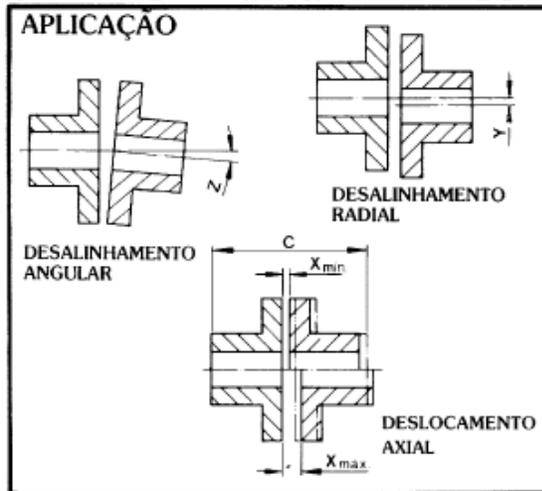
### FUROS ADMISSÍVEIS

Os acoplamentos podem ser fornecidos com furo acabado e rasgo de chave conforme DIN 6885 folha 1, ou com furo em bruto. Na usinagem do furo, a centragem deve ser feita sempre em relação ao diâmetro externo D.

Quanto maior o nível de solicitação de um acoplamento, maiores devem ser os cuidados com a montagem do mesmo sobre o eixo, e a verificação nas faces dos flanges. Para elevadas solicitações, recomendamos ajuste  $H_7/m_6$  e chave a em todo o comprimento útil do cubo (dimensão L).

Tamanho	Furo máx.	Furo mín.	b	C	d	D	L	m	Massa (kg)
D - 3	38		35	104	58	112	50	33	3,1
D - 4	42		35	114	68	125	55	36	4,5
D - 5	48		42	124	74	140	60	37	6,4
D - 6	55		45	144	85	160	70	47	9,5
D - 7	60		47	164	98	170	80	57	12,7
D - 9	80		63	197	125	225	95	65	25,9
D - 11	110		68	237	170	270	115	85	49,8
D - 13	150	55	87	300	220	360	145	100	107,8
D - 15	180	60	110	380	270	450	185	125	213,9
D - 17	220	90	140	462	330	560	225	155	390,9
D - 18	250	100	140	542	380	630	265	195	574,3

Nota: dimensões dadas em mm.



Tamanho	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	$\frac{N}{n} \times F$	Mt (mkgf)	GD <sup>2</sup> (kgf.m <sup>2</sup> )	rpm máx. (*)
D - 3	4 ± 1,5	0,4 máx.	1° máx.	0,02	14,2	0,0172	4500
D - 4				0,03	22,5	0,0280	4000
D - 5				0,05	36	0,0562	3600
D - 6				0,08	55	0,0991	3400
D - 7	7 ± 2			0,13	90	0,1383	3200
D - 9				0,25	180	0,5245	2500
D - 11	10 ± 2	0,8 máx.		0,5	360	1,3030	2200
D - 13				1	720	5,5923	1700
D - 15	12 ± 2			2	1430	17,650	1300
D - 17				4	2860	49,250	1000
D - 18				5,6	4000	85,205	850

(\*) rpm<sub>máx.</sub> - rotação limite para uso sem balanceamento dinâmico

Observações:

- Um alinhamento correto aumenta a vida dos elementos elásticos.
- Para velocidades periféricas no diâmetro D, acima de 28 m/s, recomendamos balanceamento dinâmico.
- N = potência efetiva em cv (1kW = 1,36 cv)
- n = rpm
- Mt = momento de torção em mkgf (1 daN = 1,02 mkgf)
- GD<sup>2</sup> = momento de inércia em kgf.m<sup>2</sup> = 4J em kgm<sup>2</sup>

FATOR R		
Refere-se à máquina acionada por motor elétrico ou turbina.		
Geradores de luz Ventiladores N/n ≤ 0.1 Bombas centrífugas	1.2	1.8
Elevadores de canecas Exaustores e ventiladores N/n ≥ 0.1 Máquinas ferramenta rotativas Turbo-compressores Transportadores de correia Hélices marítimas	1.4	2.2
Misturadores Guinchos Máquinas para madeiras Monta-cargas Fornos e cilindros rotativos Betoneiras	1.6	3.0

FATOR T <sub>S</sub>	
Aplica-se para tempo de serviço.	
até 2h/dia	0,9
2 - 8h/dia	1,0
8 - 16h/dia	1,06
16 - 24h/dia	1,12

FATOR M	
Refere-se ao tipo de acionamento.	
Motor de combustão 1 a 3 cilindros	1,5
Motor de combustão 4 a 6 cilindros	1,2
Motor elétrico	1,0

**EXEMPLO DE SELEÇÃO**

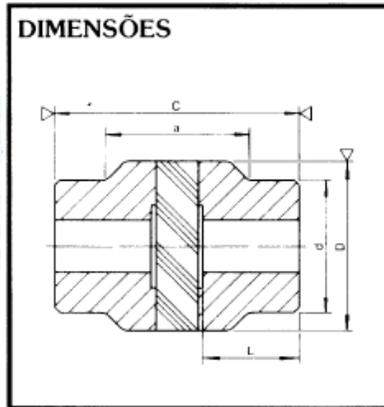
Determinar um acoplamento Teteflex entre um redutor e um moinho rotativo, cujo motor elétrico é de 12 cv, potência efetiva N = 10 cv e velocidade n = 150 rpm, trabalhando 8h/dia.

$$\text{Fatores: } R = 1,8 \quad T_S = 1,0 \quad M = 1,0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{N \times F}{n} = \frac{10 \times 1,8}{150} = 0,12 \\ \text{Fator } F = R \times T_S \times M = 1,8 \times 1,0 \times 1,0 \end{array} \right.$$

Tamanho escolhido: Acoplamento Teteflex tamanho D-7



- consiste em dois flanges simétricos de ferro fundido, com dentes usinados e cruzeta amortecedora de borracha nitrílica a prova de abrasão e resistente a óleos naturais.
- absorve vibrações e choques, trabalhando silenciosamente, sem dar origem a forças axiais prejudiciais aos mancais.
- apto para trabalho reversível, em posição horizontal e vertical.
- não requer manutenção nem lubrificação.
- baixo peso unitário, resultando assim em um momento de inércia ( $GD^2$ ) reduzido.



### FUROS ADMISSÍVEIS

Os acoplamentos são fornecidos normalmente sem furos. A pedido poderão ser executados com furos acabados conforme tolerância ISO H7. Para usinagem dos furos a contração deverá ser feita em relação ao diâmetro externo D.

Recomendamos o uso de canal de chaveta para transmissão do torque. Um parafuso sem cabeça para fixação axial somente como elemento auxiliar, quando a aplicação o requer.

Um alinhamento correto do acoplamento aumenta a vida do elemento elástico. Para rotações próximas de  $n_{máx}$ , recomendamos usinagem dos cubos do acoplamento.

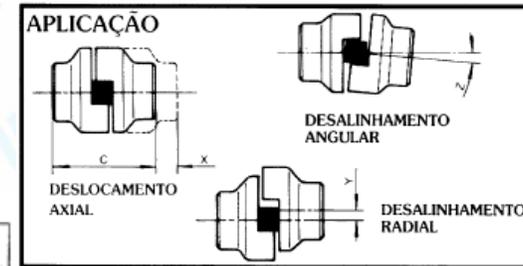


TABELA 1

Tamanho	Furo máx.	a	C	d	D	L	Massa (kg)
E - 10	20	32,4	65,4	36	48	24,5	0,5
E - 12	25	40	83	45	60	31,5	1,0
E - 16	32	52	104	56	75	40	2,1
E - 20	40	59	120	70	95	45	3,8
E - 20L	40	59	142	70	95	56	4,4
E - 25	50	74	148	85	116	55	7,0
E - 25L	50	74	180	85	116	71	8,3

TABELA 2

Tamanho	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	$n_{máx}$ (rpm)	$N \times R / n$	Mt (mkgf)	$GD^2$ (kgf.m <sup>2</sup> )
E - 10	0,6	±0,2	1° máx.	3500	0,00088	0,63	0,0005
E - 12	0,8				0,00175	1,25	0,0015
E - 16	1				0,0035	2,50	0,0049
E - 20	1,25	±0,2	1° máx.	3000	0,007	5,0	0,0130
E - 20L					0,0152		
E - 25	1,6	±0,2	1° máx.	2000	0,014	10,0	0,0370
E - 25L					0,0422		

Nota: dimensões dadas em mm.

FATOR R refere-se à máquina acionada por motor elétrico.					
Geradores de luz Ventiladores $N/n \leq 0,1$ Bombas centrífugas	1,2	Misturadores Guinchos Máquinas para madeiras	1,6	Centrífugas Máquinas lavadeiras Bombas de pistão com volante. Transportadores de corrente Moinhos em geral Tambores e moinhos rotativos Pontes rolantes	1,8
Elevadores de canecas Exaustores e ventiladores $N/n \geq 0,1$ Máquinas ferramenta rotativas Transportadores de correia	1,4	Monta-cargas Fornos e cilindros rotativos Betoneiras			

### EXEMPLO DE SELEÇÃO

Determinar um acoplamento Uniflex entre um motor elétrico de 10 cv e uma bomba centrífuga que requer  $N = 8,6$  cv à rotação de 1720 rpm.

- Determine o fator  $R = 1,2$
- Determine  $N = \frac{8,6}{1720} = 0,005$
- Determine  $N \times R = 0,005 \times 1,2 = 0,006$
- Pela tabela 2, o tamanho será E - 20
- Verifique o furo máximo admissível em relação aos eixos, do motor e da bomba (tab. 1).

TABELA 19.1 – Normas DIN

	Assunto	DIN	Assunto	DIN	
Acoplamento	Acoplamentos fixos	758, 759	Articulações	Articulações de garfo	71 751
	Flanges de acoplamento forjadas	760		Articulações “Cardan”	7 551
	Acoplamento de flange para transmissões	116		Articulações para trens	37 361
	Acoplamento bipartido para transmissões	115			
	Acoplamento para máquinas auxiliares	73 035			

NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. Ed. Edgard Blücher Ltda. V.2, p.76

TABELA 19.3 – Flanges de acoplamento forjadas no eixo, segundo DIN 760 (agosto de 1937), (Fig. 19.3). Dimensões em mm.

Diâmetro do eixo $d$	35	45	55	70	80	90	110	130	150	170	190	210
Diâmetro de centragem $D_1$	50	60	75	95	95	125	150	150	195	195	240	240
Diâmetro do círculo dos furos $K$	70	85	100	125	140	160	190	215	240	265	290	315
Diâmetro dos furos $d_3$	11	14	16	18	20	22	25	32	35	40	40	45
Número de parafusos	4	4	4	6	6	6	6	6	6	8	8	8

NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. Ed. Edgard Blücher Ltda. V.2, p.78

Sites

<http://www.ruland.com>

<http://www.gerwah.com.br>

Tabela19.4- Acoplamentos de flanges e bipartidos. Dimensões em mm.

Diâmetro do eixo		25 e 30	35 e 40	45 e 50	55 e 60	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200
Acoplamento bipartido segundo DIN 115 (fevereiro de 1922)	Diâmetro externo $D$	105	115	140	155	180	195	220	240	270	290	320	—	—	—
	Comprimento total $L$	130	160	190	220	250	280	310	350	390	430	490	—	—	—
	Pêso	3,6	5,5	8	11,8	17,4	21,5	33	44	72	100	148	—	—	—
Acoplamento de flanges segundo DIN 116 (fevereiro de 1922)	Diâmetro externo $D$	150	170	195	220	245	270	300	330	360	390	440	480	540	600
	Comprimento total $L$	130	150	170	190	210	230	260	290	320	350	390	430	470	510
	Pêso	7	10	13	20	29	40	56	74	98	123	160	225	300	385
	Com disco intermediário														
	Comprimento total $L_1$	150	170	190	210	230	250	280	310	340	380	420	460	500	540
	Pêso	9	13	16	24	33	45	62	82	107	140	180	250	332	425

\*Para diversos diâmetros de eixo, escolhe-se o tamanho do acoplamento pelo maior diâmetro de eixo.

NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. Ed. Edgard Blücher Ltda. V.2, p.78

## 10.5. Referências

- Niemann G. *Elementos de Máquinas*, vol. 2, Editora Edgard Blucher, 1991.
- <http://www.gerwah.com.br>
- <http://www.ruland.com>
- [http://www.rw-america.com/bellows\\_couplings/index.html](http://www.rw-america.com/bellows_couplings/index.html).