

# *PROJETO MECÂNICO (SEM 0347)*

Notas de Aulas v.2019

## *Aula 07 – Transmissões*

Professor: Carlos Alberto Fortulan  
Colaborador: Rogério Erbereli

# Transmissão

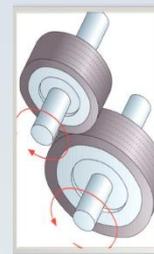
Em uma máquina, acionamentos são necessários para transmitir energia de um motor para vários componentes, geralmente de um eixo para outro, e é feito por componentes de transmissão.

## Componentes de transmissão

- ✓ Correias;
- ✓ Correntes;
- ✓ Engrenagens;
- ✓ Roda de atrito;
- ✓ Cabos de aço

# Seleção dos componentes de transmissão

- ✓ Espaço requerido;
- ✓ Precisão;
- ✓ Exigências de funcionamento;
- ✓ Precisão de fabricação;
- ✓ Formas construtivas
- ✓ Dados para dimensionar
- ✓ Comparação de dimensões, peso e preço.



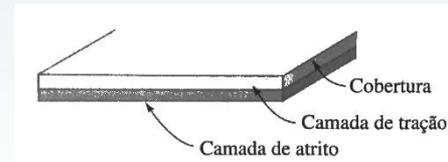
	<b>Engrenagens Cilíndricas</b>	<b>Parafuso sem fim</b>	<b>Corrente</b>	<b>Correia plana</b>	<b>Correia em V</b>	<b>Correia dentada</b>	<b>Rodas de atrito</b>
<b>Potência (kW)</b>	3.000	120	200	150	100	100	25
<b>Relação</b>	8	50	6	5	8	8	6
<b>Velocidade Tangencial (m/s)</b>	50	25	10	60	25	40	25
<b>Rotação (rpm)</b>	150.000	40.000	10.000	200.000	8.000	30.000	10.000
<b>Eficiência</b>	93-99	50-96	97-98	96-98	92-94	96-98	90-98
<b>Precisão</b>	Alta	Alta	Média	Baixa	Baixa	Média	Baixa
<b>Ruído</b>	Médio	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
<b>Custo</b>	Alto	Alto	Médio	Baixo	Médio	Médio	Baixo

Machine	Typical Efficiency
V-belt drives	95%
Timing belt drives	98%
Poly-V or ribbed belt drives	97%
Flat belt drives, leather or rubber	98%
Nylon core	98% to 99%
Variable speed, spring loaded, wide range	
V-belt drives	80% to 90%
Compound drive	75% to 90%
Cam-reaction drive	95%
Helical gear reducer	
Single-stage	98%
Two-stage	96%
Worm gear reducer	
10:1 ratio	86%
25:1 ratio	82%
60:1 ratio	66%
Roller chain	98%
Leadscrew, 60 deg helix angle	65% to 85%
Flexible coupling, shear-type	99%+

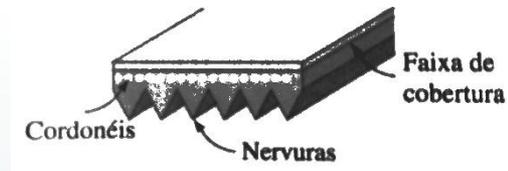
<b>Características</b>	<b>Roda de atrito</b>	<b>Engrenagem</b>	<b>Correia plana</b>	<b>Correia Trapezoidal</b>	<b>Correia sincronizadora</b>	<b>Corrente</b>
<b>Máx. potência [kW]</b>	80	80e3	200	350	120	400
<b>Máx. torque [kNm]</b>	5	7000	3	5	1	40
<b>Máx. veloc. Linear [m/s]</b>	20	20	100	30	60	10
<b>Eficiência</b>	0,95	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95
<b>Potência como função da velocidade</b>	sim	não	sim	sim	sim	sim
<b>Máx. razão de trans. (1 estágio)</b>	6-18	6-10	6-8	6-10	6-10	6-10
<b>Tensionamento</b>	sim	não	sim	sim	sim	sim
<b>Carregamento nos mancais</b>	alto	baixo	alto	alto	baixo	baixo
<b>Precisão</b>	Médio	alto	baixo	baixo	baixo	médio
<b>Escorregamento</b>	sim	não	sim	sim	não	não
<b>Ruído (barulho)</b>	baixo	médio	baixo	baixo	baixo	alto
<b>Limite de sobrecarga</b>	sim	não	sim	sim	não	não
<b>Custo</b>	baixo	alto	baixo	médio	médio	médio

# Tipos de correias

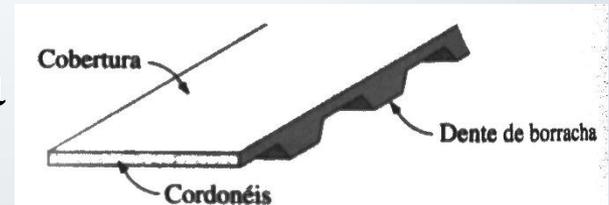
✓ Correia Plana;



✓ Correia em “V”;



✓ Correia Sincronizadora



# Correias planas

Seção transversal retangular

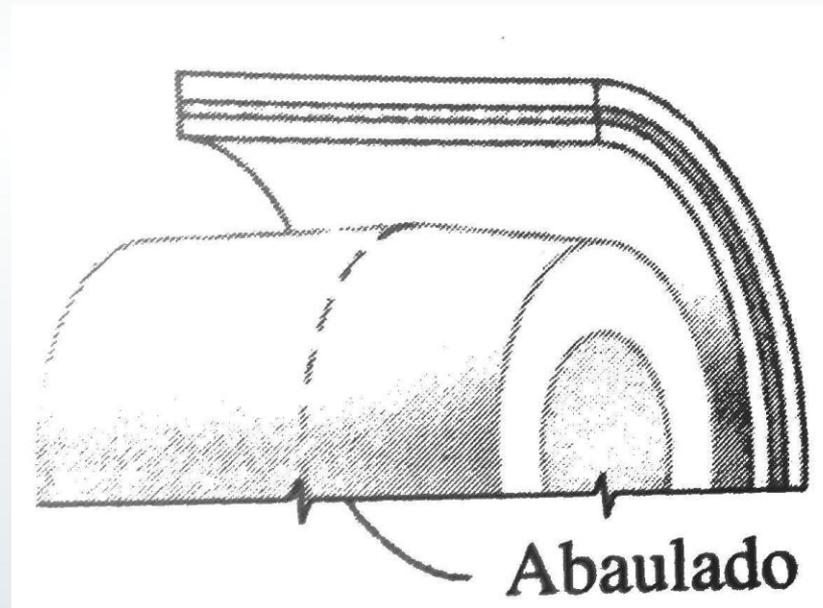
- Construção simples;
- Baixo custo;
- Alta flexibilidade;
- Elevada tolerância à sobrecarga;
- Boa resistência em ambientes abrasivos;
- Ruidosa;
- Deslizamento é provável;
- Baixa eficiência em baixas velocidades;
- Tensionamento é necessário.



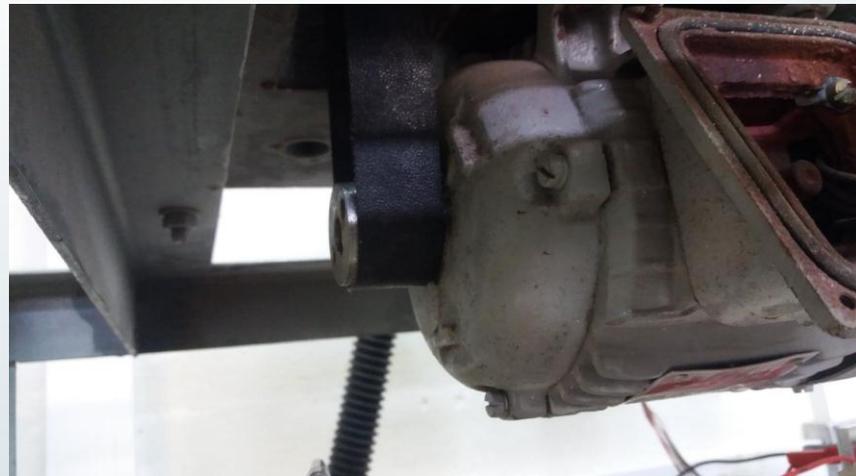
# Polias para correias planas

As polias são abauladas para correia plana

- Esse tipo de polia provê uma trajetória estável para a correia -

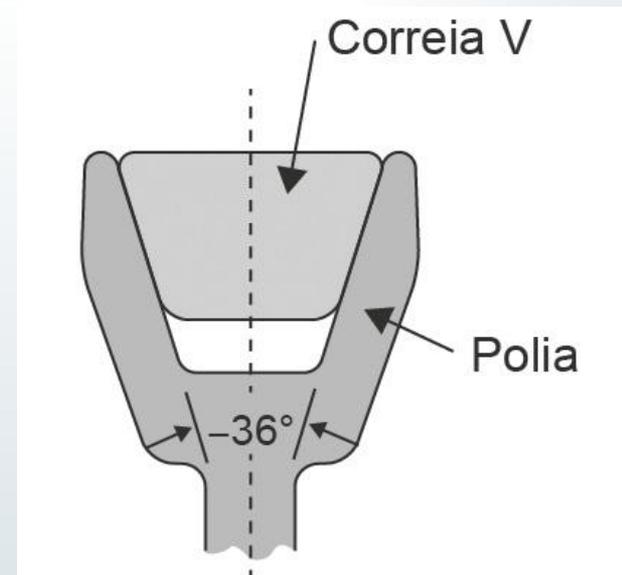


# Correias planas



# Correias trapezoidais

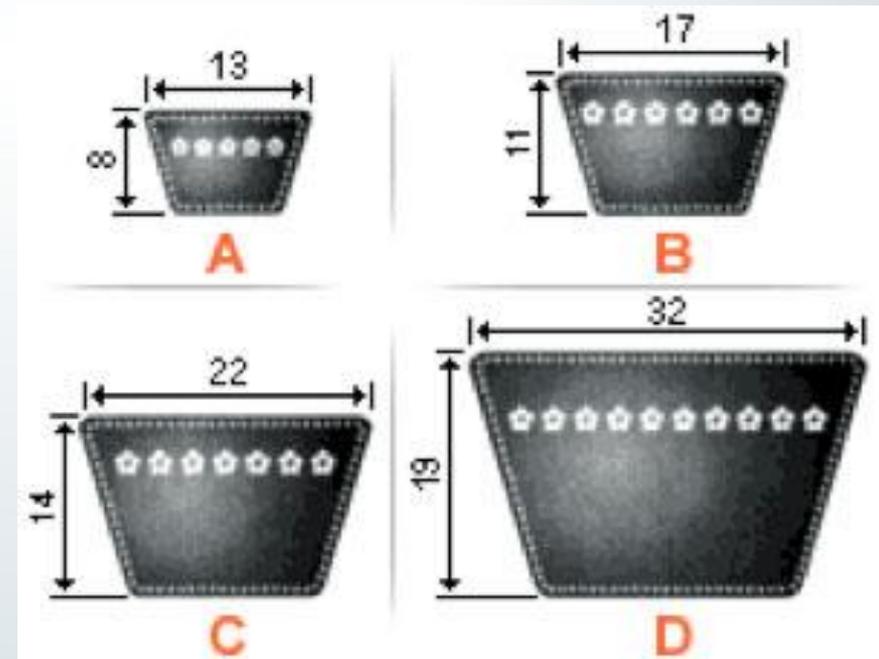
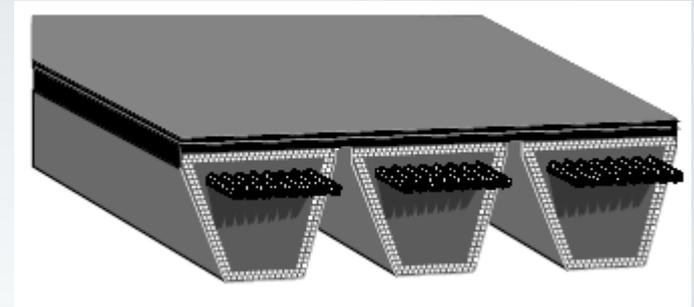
- ✓ Transmissão por atrito, a correia em formato "V" tende a uma espécie de cunha para dentro do canal da polia, quando maior a carga maior a força de atrito;

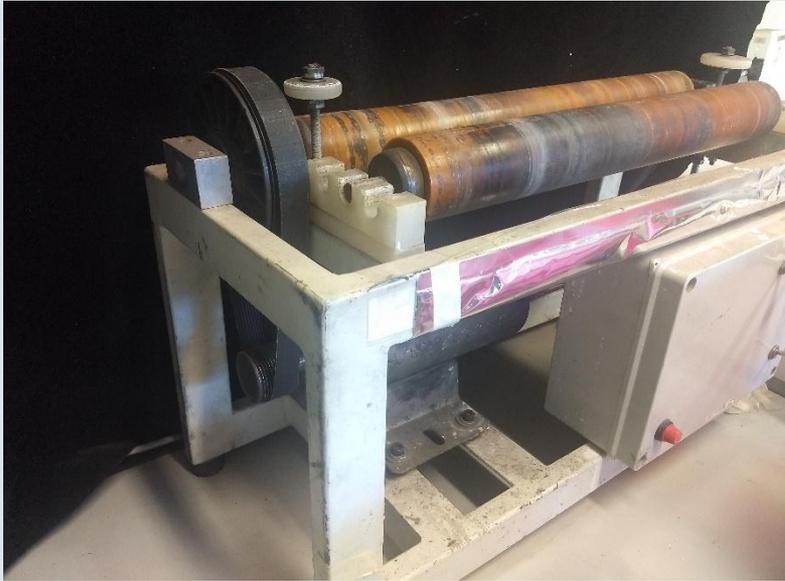


✓ Para alta potência, dois ou mais correias V podem ser unidas lado a lado em um arranjo chamado de multi-V, correspondente a feixes multi-canal;

✓ Boa resistência à sobrecargas;

✓ Ações simultâneas entre os feixes pode não ser precisos;





# Correias sincronizadoras (Timing Belts)

São correias dentadas onde o sincronismo é garantido pela presença de dentes. A carga é transferida pelos dentes e pela superfície.

Utilizadas em:

impressoras jato de tinta;  
alguns grandes robôs XY.

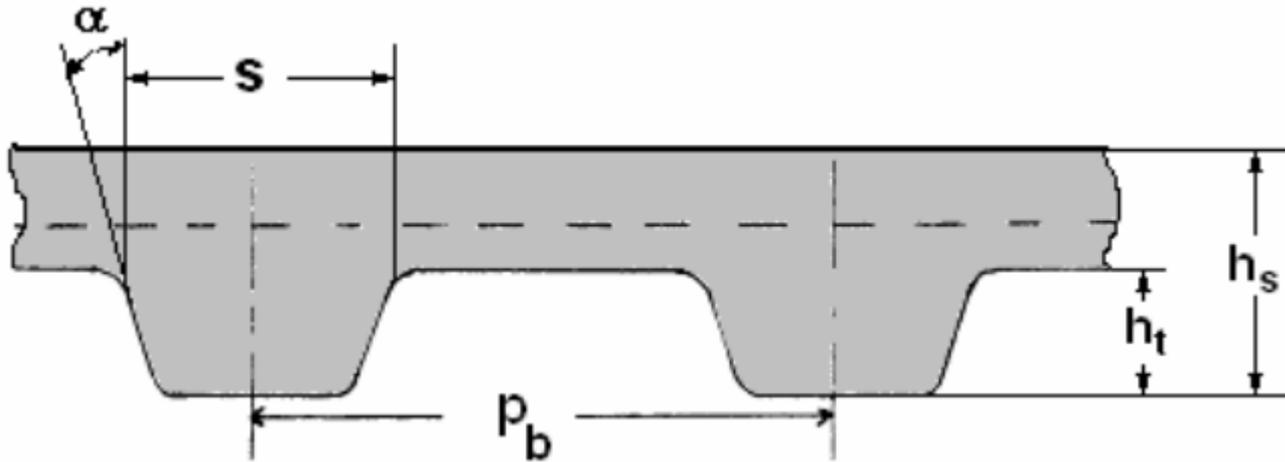


# Correias sincronizadoras: tipos de dentes



Finalidade do tipo de dente:

- ✓ Redução de ruído;
- ✓ Aumento da carga máxima;
- ✓ Aumento da vida;
- ✓ Aumento da  $v_{\max}$



Parâmetro		Tipo de Perfil					
		extra extra leve	extra leve	leve	pesado	extra pesado	duplamente extra pesado
		MXL	XL	L	H	XH	XXH
Passo $P_b$	mm	2,032	5,080	9,525	12,700	22,225	31,750
Ângulo de flanco	$\alpha$	20°	25°	20°	20°	20°	20°
Espessura do dente s	mm		2,57	4,65	6,12	12,57	19,05
Altura do dente - $h_t$	mm	0,46	1,27	1,91	2,29	6,35	9,53
Altura total - $h_s$	mm	1,14	2,3	3,6	4,3	11,2	15,7
Nº mínimo de dentes recomendado na polia			12 - 10	16 - 12	20 - 17	26 - 22	26 - 22

# Polias sincronizadoras



# Considerações dinâmicas

A variação da tensão de uma correia ao longo da polia de tração pode ser expressa por:

$$\frac{T}{T_2} = e^{\mu\theta}$$

Onde:

$T$  = tensão de entrada na polia;

$T_2$  = tensão de saída da polia;

$\mu$  = coeficiente de atrito

$\theta$  = ângulo de abraçamento.

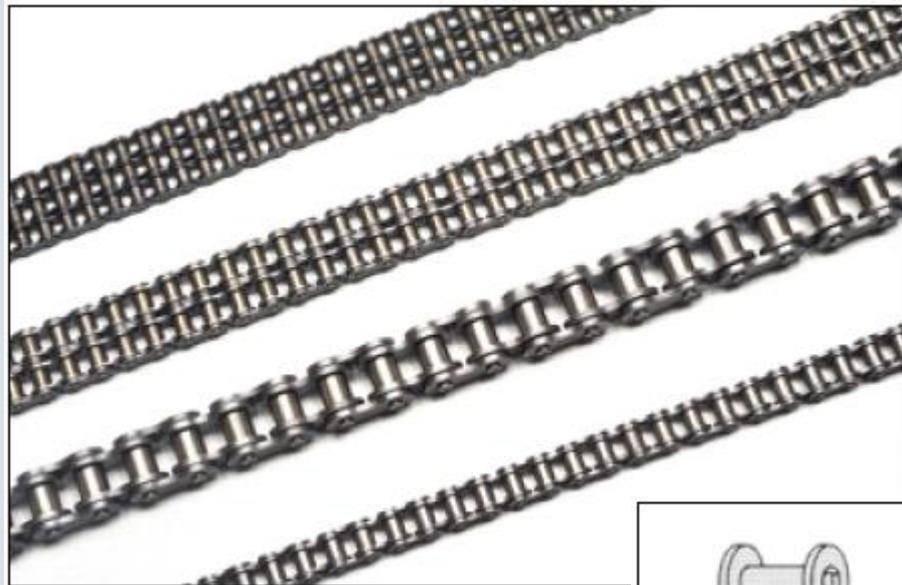
# Considerações dinâmicas

É possível aumentar o torque transmitido por:

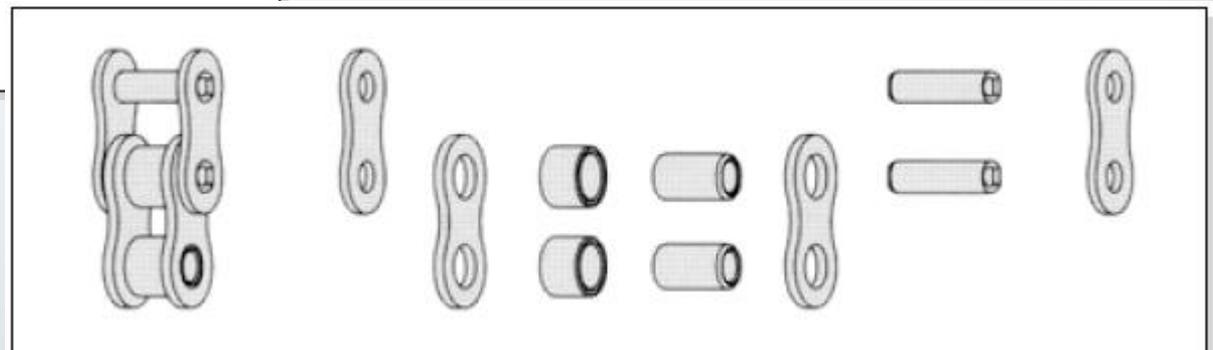
- ✓ aumento do coeficiente de atrito;
- ✓ aumento do ângulo de 'abraçamento' → empregando polias tensionadoras.
- ✓ A razão de transmissão é igual à razão entre o número de dentes da polia motora pelo da polia movida.

# Transmissão por correntes

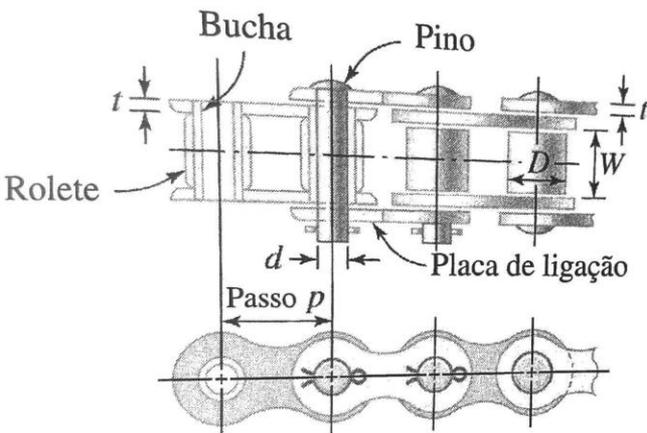
- ✓ As correntes também tem flexibilidade, e são preferidos para distâncias intermediárias.



- ✓ Transmissão mais precisa que das correias;
- ✓ Longa vida de serviço;
- ✓ Custo intermediário (maior que com correias e menor que com engrenagens);



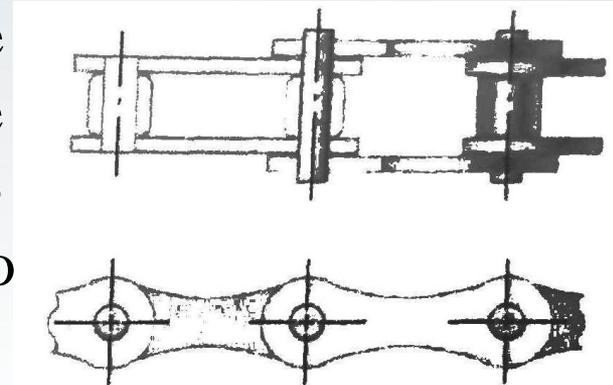
# Tipos de correntes



Corrente de roletes de precisão



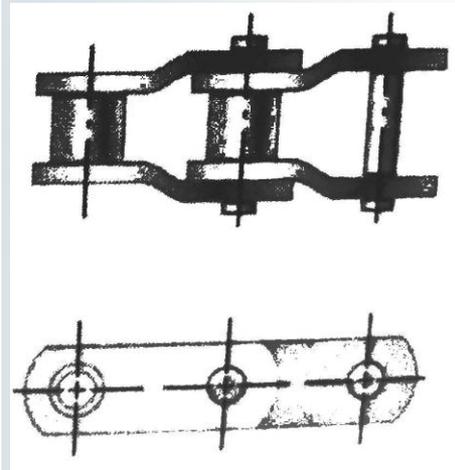
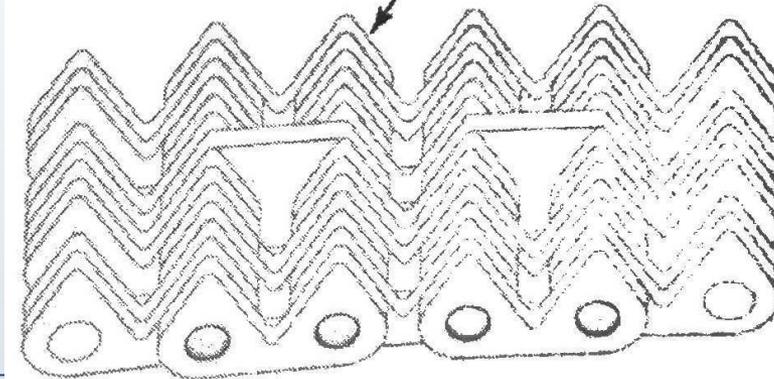
Corrente de rolete de passo estendido



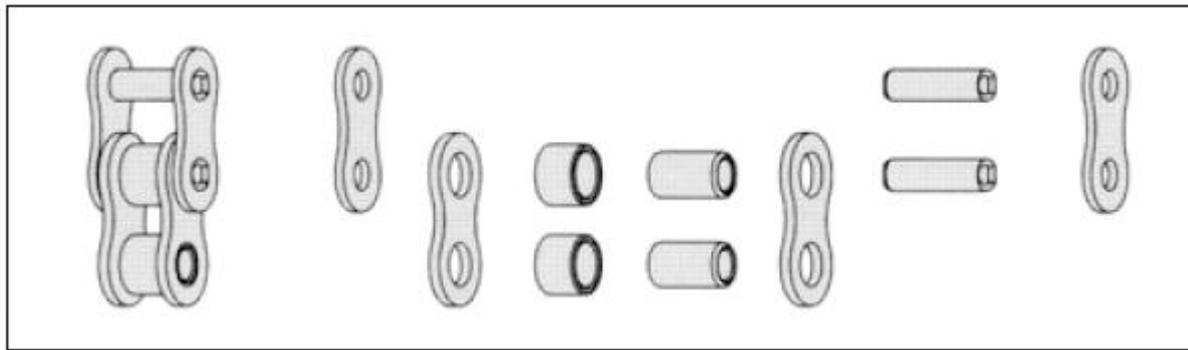
Corrente de dentes invertidos



Placas de ligação dentadas



Corrente de classe de engenharia

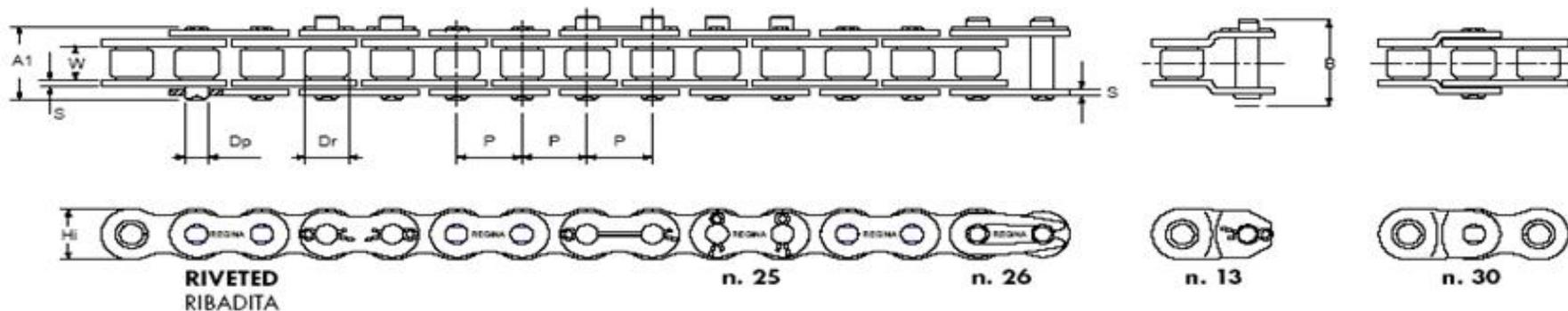


Cadeia = sequencia de link interno e link de pino articulado, que a torna um dispositivo flexível para transmissão de energia

Principais parâmetros:

- Pitch: distância entre 2 pinos consecutivos;
- Diâmetro do rolamento: dimensão do diâmetro exterior dos rolos da corrente;
- Largura interna: distância entre os dois lados internos opostos das placas de ligação internas.

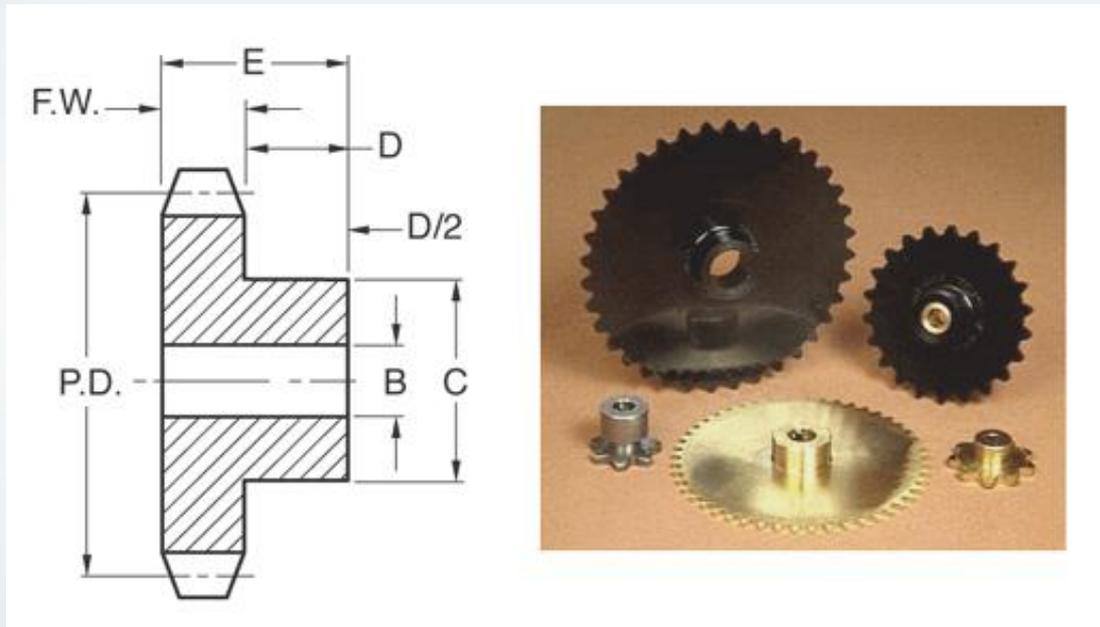
# Dimensões



## EUROPEAN SERIES - SINGLE STRAND SERIE EUROPEA - SEMPLICI

ISO N°	Regina Chain N° Codice Catena Regina	Product Range Gamma	Other versions of frequent use Varianti di uso frequente	Pitch Passo		Roller Diameter Diametro Rullo	Inside Width Larghezza interna	Plate / Piastra		Pin/Perno			Working Surface Superficie di lavoro	Measuring Load Carico di Misura	Min. Ultim. Strength Carico di rottura minimo	Avg. Ultim. Strength Carico di rottura medio	Avg. Weight Peso approx.	Standard loose parts Parti staccate standard		
				P mm	" inches			Dr max mm	W min mm	Hi max mm	s inner/outer mm	Dp max mm						A1 max mm	B max mm	mm <sup>2</sup>
X	05 B-1	105	STD	SS	8,00	0,315	5,00	3,00	7,11	0,80/0,70	2,31	8,30	13,00	11	50	4,40	4,90	0,16	26	30
-	-	C120	SPEC-DIM		9,525	3/8	6,35	3,90	8,26	1,27/1,03	3,28	11,00	15,00	22	70	8,90	9,80	0,35	26	30
X	06 B-1	C121	STD	NC-SS	9,525	3/8	6,35	5,72	8,26	1,27/1,03	3,28	12,80	19,00	28	70	8,90	9,80	0,39	26	13-30
X	06 B-1	C121CH	CHROMA		9,525	3/8	6,35	5,72	8,26	1,27/1,03	3,28	12,80	19,00	28	70	8,90	9,80	0,39	26	30
	082	50	SPEC-DIM		12,70	1/2	7,75	2,38	9,91	0,95/0,92	3,66	8,10	10,60	16	120	9,02	9,80	0,26	26	-
	081	53	SPEC-DIM		12,70	1/2	7,75	3,30	9,91	0,95/0,92	3,66	9,30	12,30	20	125	8,00	9,80	0,29	26	30
	083	54	SPEC-DIM	SS	12,70	1/2	7,75	4,88	10,30	1,40/1,40	4,09	12,90	15,90	33	125	11,60	11,80	0,43	26	30
	084	90R	SPEC-DIM		12,70	1/2	7,75	4,88	11,15	1,80/1,63	4,09	14,60	17,60	36	125	15,60	15,70	0,51	26	30
	-	124R	SPEC-DIM		12,70	1/2	7,75	6,48	11,15	1,80/1,63	4,09	16,20	19,00	42	120	14,95	16,00	0,56	26	30

# Rodas dentadas



# Características

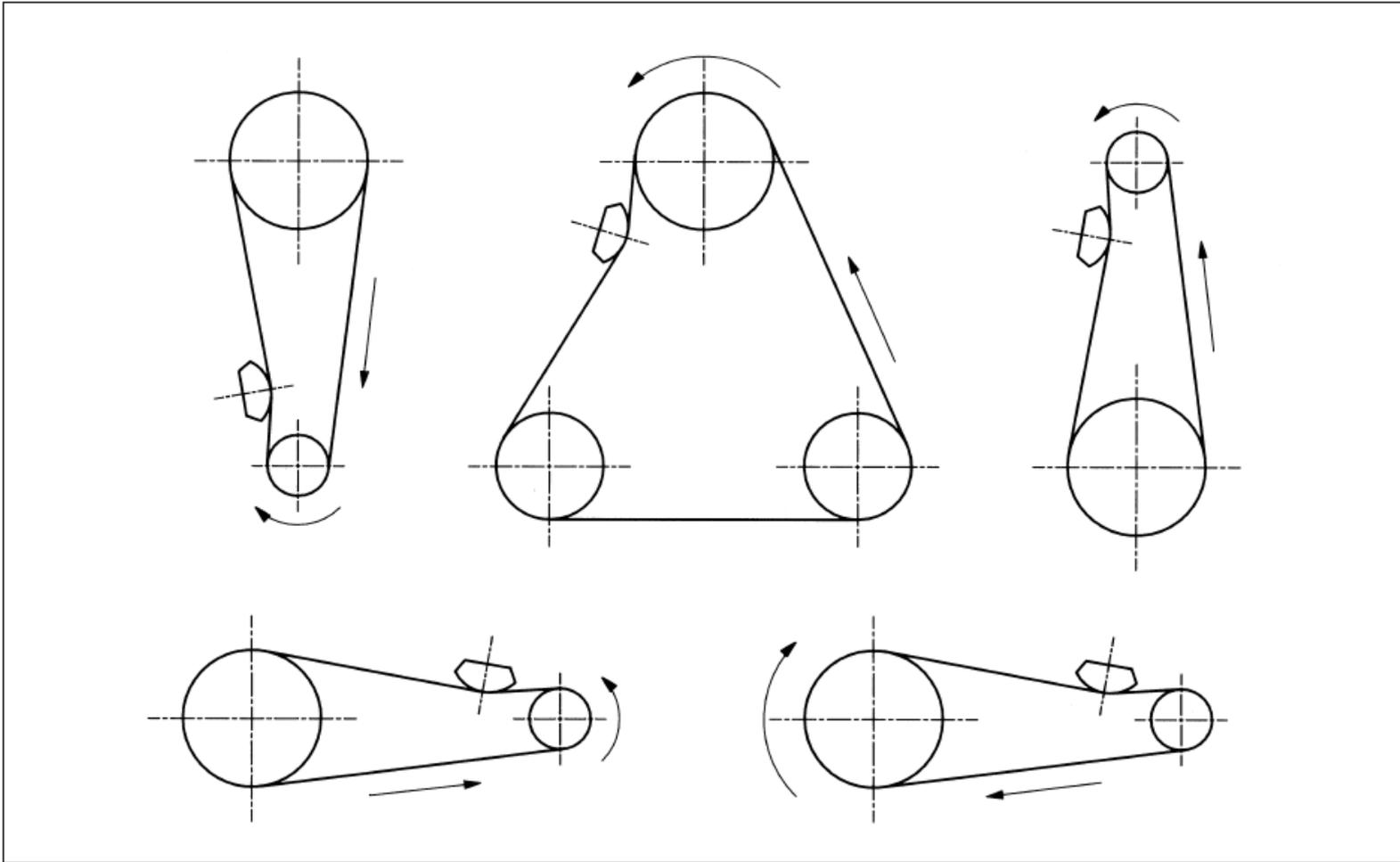
## Prós:

- ✓ boa vida útil;
- ✓ Alto carregamento;
- ✓ menor ângulo de abraçamento (relativo às polias).

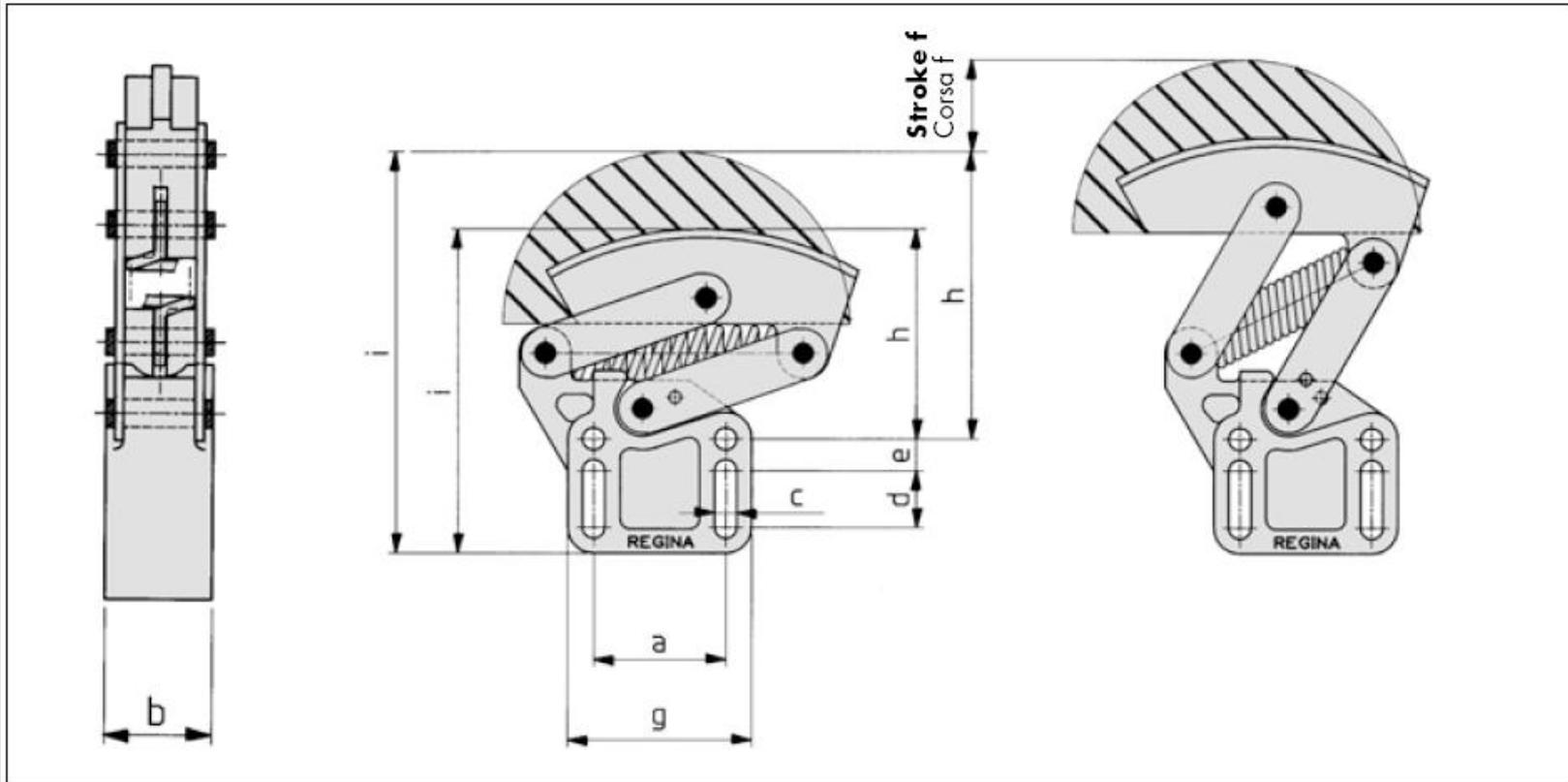
## Contras:

- ✓ Custo (relativo às polias);
- ✓ Menor velocidade ( $< 10$  m/s);
- ✓ Requer manutenção frequente (lubrificação);
- ✓ Ruído.

# Configurações



# Tensionadores



# Engrenagens

As engrenagens são amplamente utilizadas para transmitir energia em máquinas, têm perfil dentado e podem ser classificadas em:

- ✓ engrenagens de dentes retos;
- ✓ engrenagens helicoidais;
- ✓ engrenagens cônicas;
- ✓ sem-fim.

# Estado da Técnica

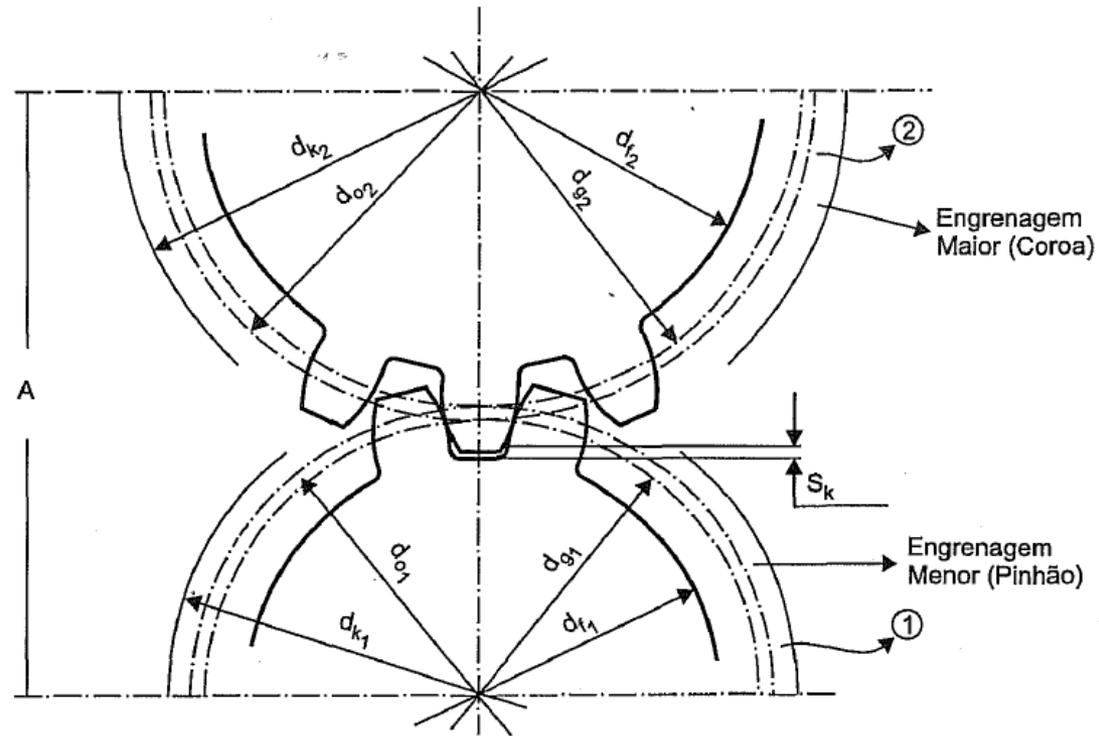
- ✓ **Engrenagens**
- ✓ Maior variedade de potências, rotações e relações de transmissão
- ✓ Rendimento entre 96 e 99%
- ✓ Potência de até 25.000 CV
- ✓ Não há deslizamento



# Transmissão por engrenagens

- ✓ As engrenagens são usadas quando os eixos estão muito perto uns com os outros.
- ✓ Transmissão positiva, pois não há deslizamento.
- ✓ Trem de engrenagens é uma combinação de engrenagens, que são utilizados para a transmissão de movimento de um eixo para outro.

# Engrenagens de dentes retos



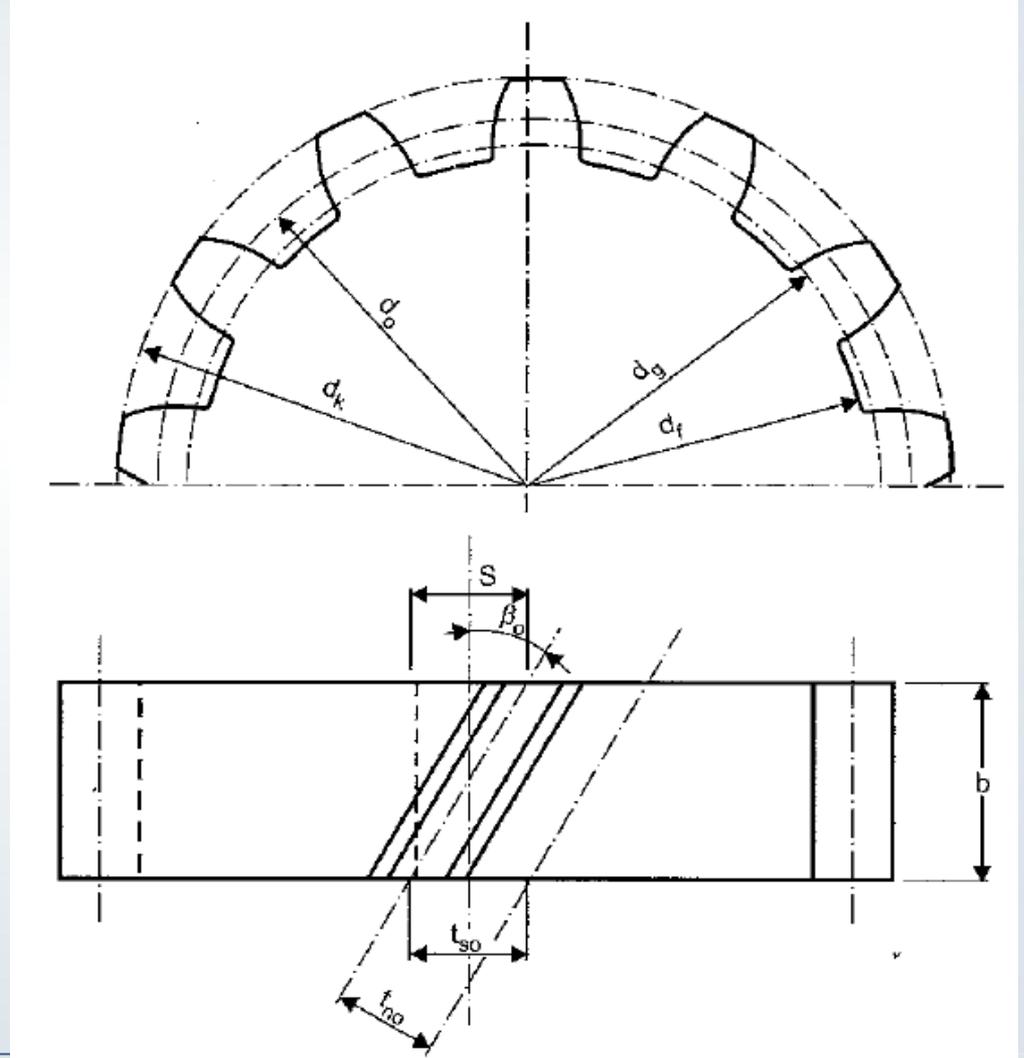
Diâmetro primitivo:  $d_0$

Diâmetro de base:  $d_g$

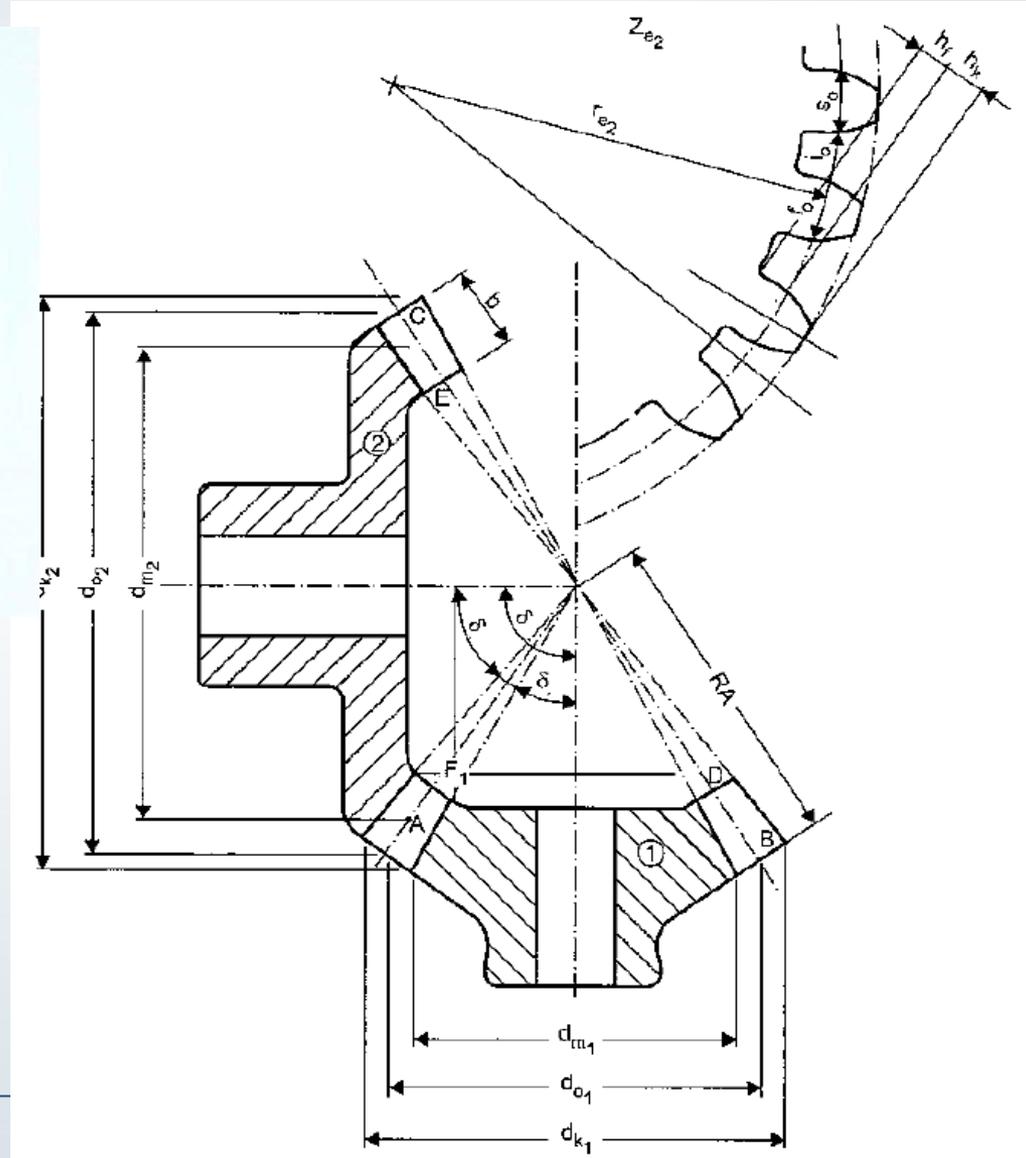
Diâmetro interno ou diâmetro do pé do dente:  $d_f$

Diâmetro externo ou diâmetro de cabeça do dente:  $d_k$

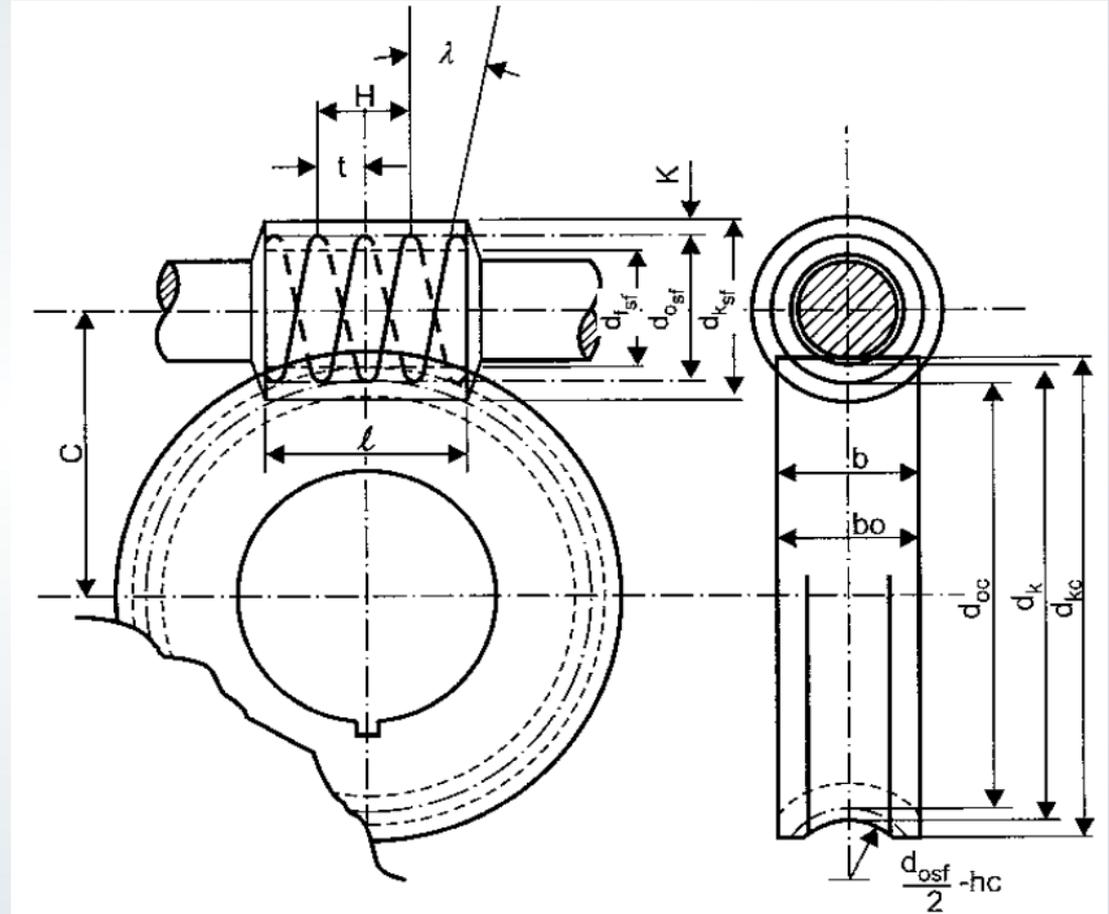
# Engrenagens helicoidais



# Engrenagens cônicas



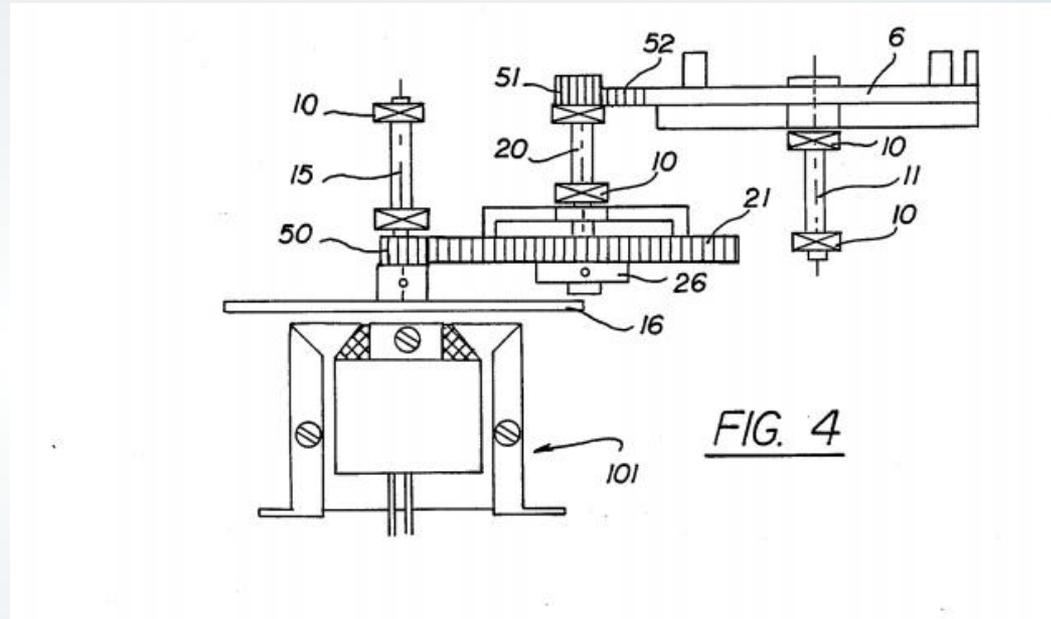
# Coroa sem fim



# Estado da Técnica → Patentes

## Transmissão

### Engrenagens (7)



Patente US4776832 (Martin, Black e Kazlauskas, 1988)

# Engrenagem x Rodas de atrito

## Engrenagem:

- ✓ Transmissão mais robusta
- ✓ Mais barulhenta
- ✓ Mais cara

## Rodas de atrito:

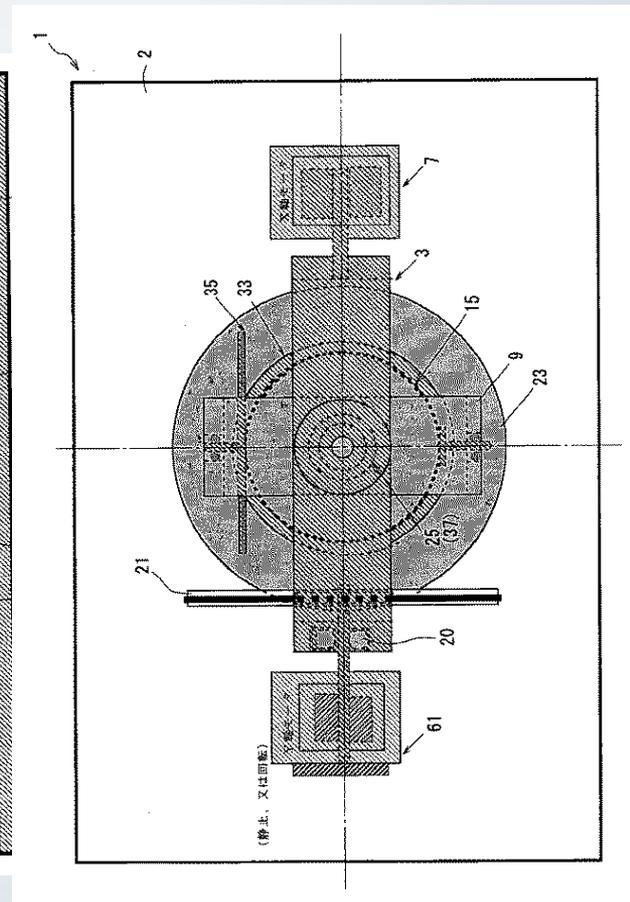
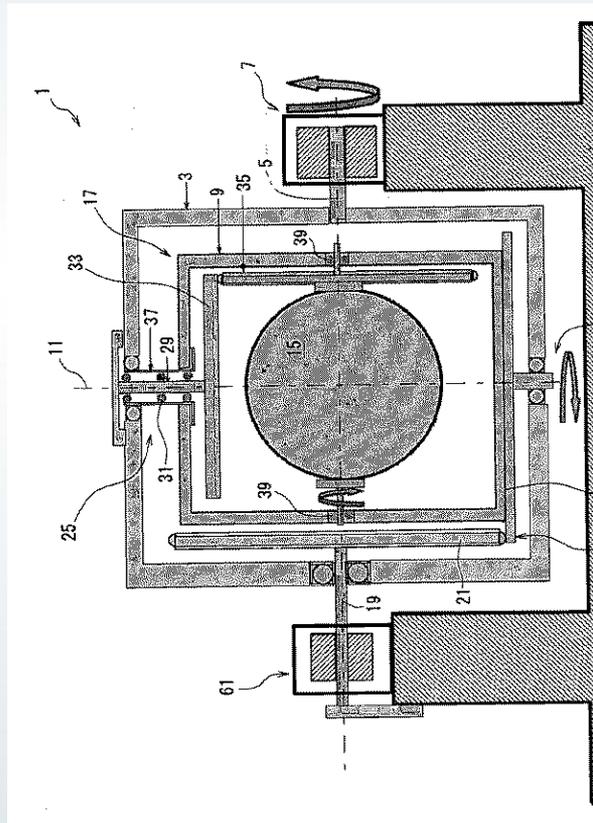
- ✓ Valores vantajosos de distância entre eixo e preço
- ✓ Limitação de potência (200 CV) e velocidade tangencial (20 m/s)
- ✓ Escorregamento
- ✓ Necessidade de pressão específica para transmissão

# Estado da Técnica → Patentes

## Transmissão

Rodas de Atrito

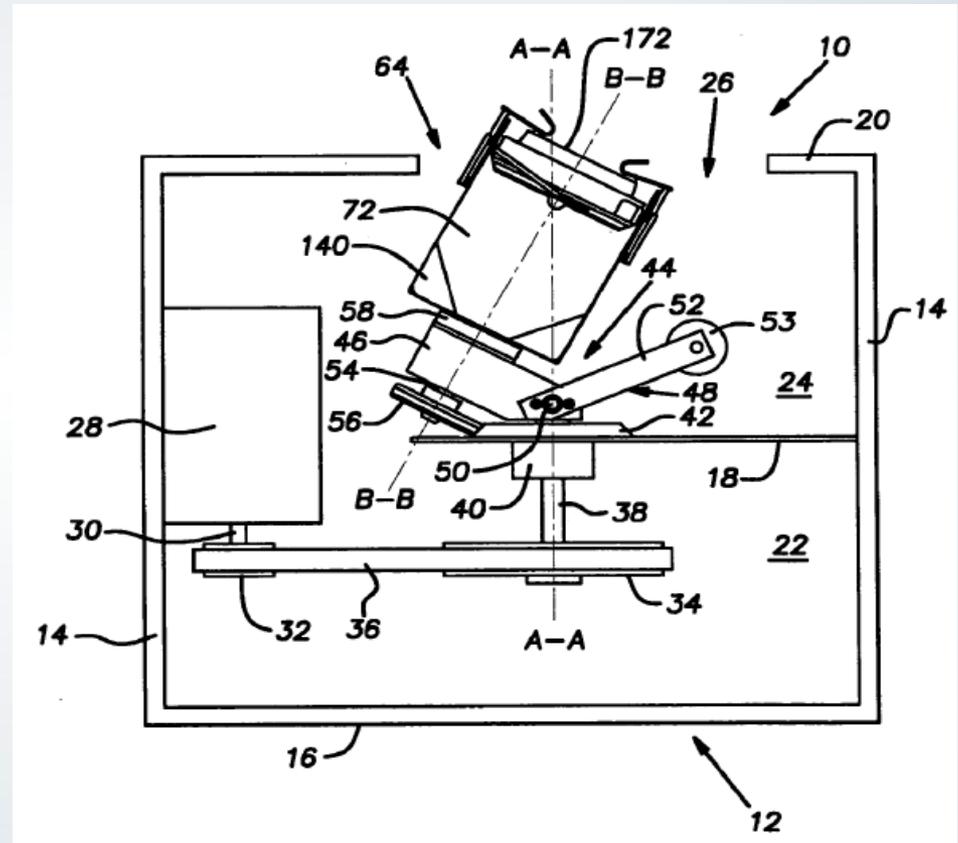
Perpendicular



# Estado da Técnica → Patentes

## Transmissão

### Rodas de Atrito (1)\*

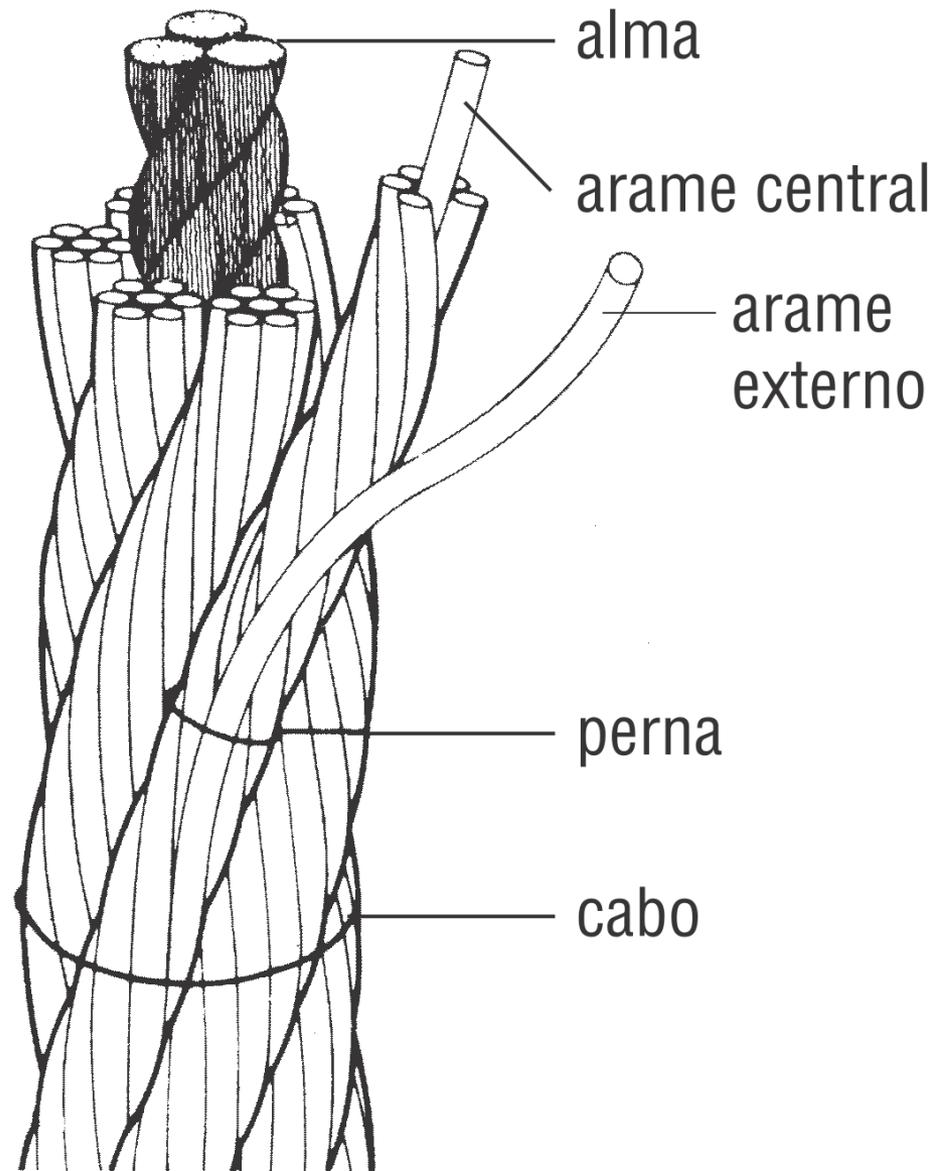


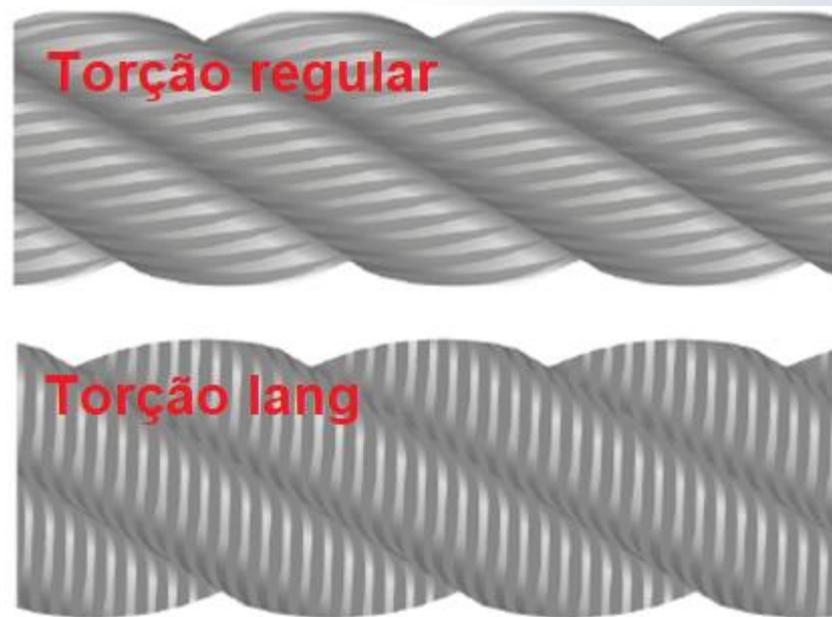
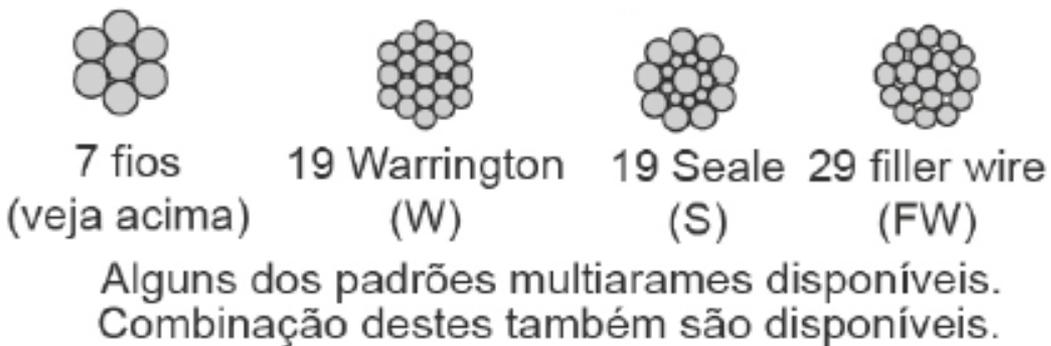
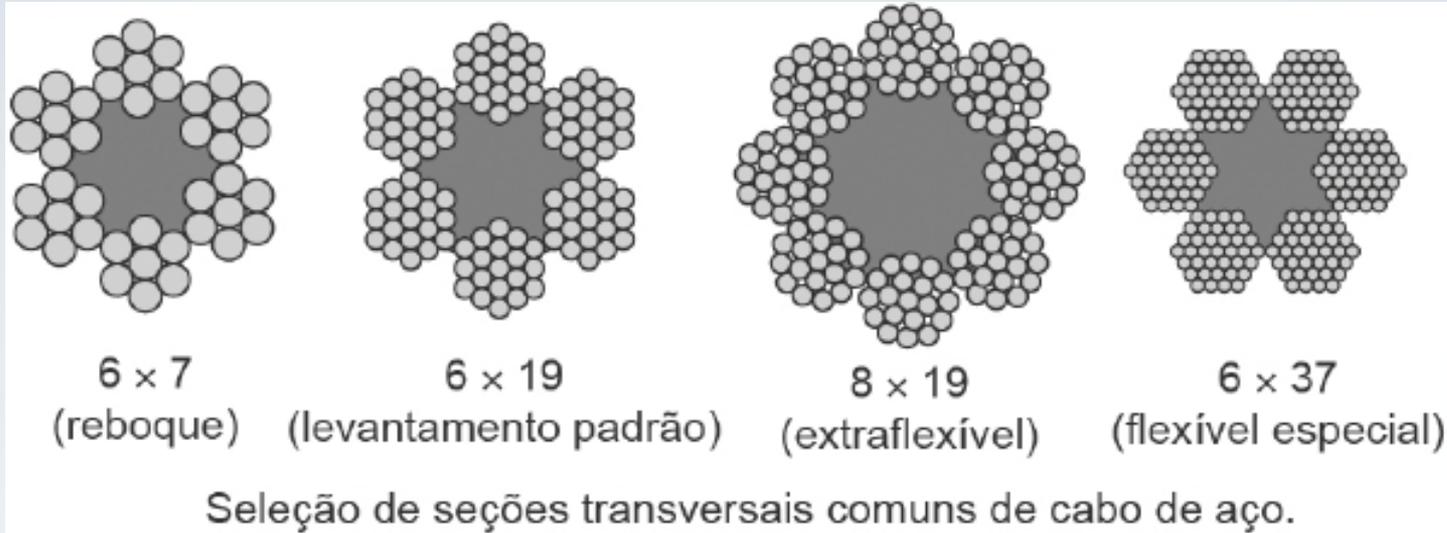
US20060256648 (Huckby, MacDonald e O'brien, 2006)

# Cabos de aço

Os cabos de aço são utilizados para aplicações de elevação, reboque ou transporte no qual o cabo suporta carregamento em seu comprimento.

A flexibilidade do cabo é obtida através do uso de um grande número de arames de pequeno diâmetro torcidos em torno da alma.





# Carga de ruptura dos cabos de aço

## CARGA DE RUPTURA TEÓRICA

Área Metálica x Resistência dos Arames

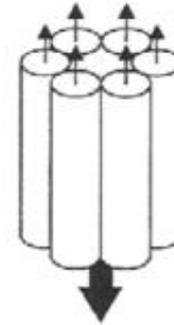
## CARGA DE RUPTURA MÍNIMA EFETIVA

Carga de Ruptura Teórica x Fator de  
Perda por Encabramento

$CRME = CRT \times F$  ou  $CRME = Am R \text{ arames} \times F$

## CARGA DE RUPTURA PRÁTICA

Carga Obtida no Ensaio de Tração



# Fatores de segurança aplicados na utilização dos cabos de aço

Aplicação	Fator de segurança
Cabos e cordalhas estáticas	3 a 4
Cabos para tração no sentido horizontal (esteios)	4 a 5
Guinchos	5
Guindastes e escavadeiras	5
Laços (Lingas)	5 a 6
Pontes rolantes	6 a 8
Talhas elétricas e outras	7
Guindastes estacionários	6 a 8
Elevadores de baixas velocidades (carga)	8 a 10
Elevadores de alta velocidade (passageiros)	10 a 12

# Roteiro de seleção para cabos de aço

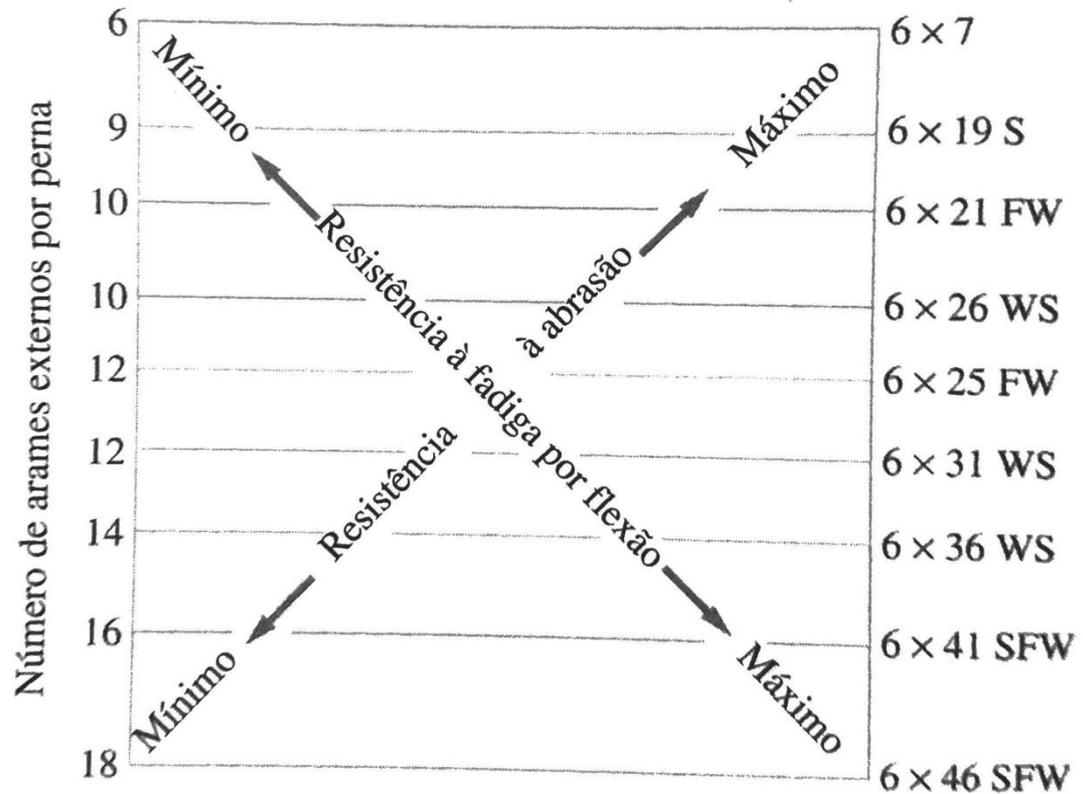
Para a seleção de um cabo de aço alguns passos devem ser seguidos; são eles:

**PASSO 01** – Estabelecer especificações de projeto para uso e objective o seu projeto quanto:

- ✓ **Modo de falha;**
  - ✓ **Vida;**
  - ✓ **Segurança;**
  - ✓ **Custos.**

## PASSO 02 –

- A partir do gráfico de em **X** (flexão x abrasão) selecione previamente o cabo.
- Selecione o material do cabo.
- Selecione o fator de segurança.



Designação padrão de pernas:

- S = Seale
- FW = Filler wire
- WS = Warrington seale
- SFW = Seale filler wire

## PASSO 03 –

Uma vez pré selecionado o material e a classe do cabo é então determinada a bitola do cabo usando:

$$\sigma_t = \frac{T}{A_c}$$

Atente-se para não esquecer nenhuma força envolvida no carregamento. Essa bitola é denominada como:  $d_c$

Para cargas subitamente aplicadas utiliza-se:

$$(\sigma_{m\acute{a}x})_{sub\ aplicada} = 2\sigma_t = 2\frac{T}{A_c}$$

$T$  = resultante da força trativa no cabo

$A_c$  = área aproximada da seção transversal metálica do cabo em função da bitola

## PASSO 04 –

Uma vez determinada a bitola do cabo, deve-se determinar o diâmetro mínimo recomendado para a polia.

O diâmetro da polia provem de tabelas como a seguir e esse diâmetro é representado por:  $d_1$

Classificação nominal		6 × 7	6 × 19	6 × 37	8 × 19
Número de pernas externas		6	6	6	8
Número de arames por perna <sup>1</sup>		3-14	15-26	27-49	15-26
Número máximo de arames externos <sup>1</sup>		9	12	18	12
Diâmetro aprox. dos arames externos <sup>1</sup> , $d_a$ , in		$d_c/9$	$d_c/13-d_c/16$	$d_c/22$	$d_c/15-d_c/19$
Materiais tipicamente disponíveis <sup>2,3</sup> (limite de resistência aprox., ksi)	Alma: (FC)	IPS (200)	I (80) T (130) IPS (200)	IPS (200)	I (80) T (130) IPS (200)
	Alma: (IWRC)	IPS (190)	IPS (190) EIPS (220) EEIPS (255)	EIPS (220) EEIPS (255)	IPS (190) EIPS (220)
Seção transversal metálica aprox. do cabo, $A_c$ , in <sup>2</sup>	Alma: (FC)	$0,384 d_c^2$	$0,404 d_c^2 (S)^4$	$0,427 d_c^2 (FW)^4$	$0,366 d_c^2 (W)^4$
	Alma: (IWRC)	$0,451 d_c^2$	$0,470 d_c^2 (S)^4$	$0,493 d_c^2 (FW)^4$	$0,497 d_c^2 (W)^4$
Bitolas padronizadas nominais de cabo disponíveis, $d_c$ , in		$1/4-5/8$ de $1/16$ em $1/16$ ; $3/4-1 1/2$ de $1/8$ em $1/8$	$1/4-5/8$ de $1/16$ em $1/16$ ; $3/4-2 3/4$ de $1/8$ em $1/8$	$1/4-5/8$ de $1/16$ em $1/16$ ; $3/4-3 1/4$ de $1/8$ em $1/8$	$1/4-5/8$ de $1/16$ em $1/16$ ; $3/4-1 1/2$ de $1/8$ em $1/8$
Peso por unidade de comprimento, lbf/ft		$1,50 d_c^2$	$1,60 d_c^2$	$1,55 d_c^2$	$1,45 d_c^2$
Módulo de elasticidade aprox. para o cabo <sup>3,5</sup> , $E_c$ , psi	0-20% de $S_u$	$11,7 \times 10^6$ (FC)	$10,8 \times 10^6$ (FC); $13,5 \times 10^6$ (IWRC)	$9,9 \times 10^6$ (FC); $12,6 \times 10^6$ (IWRC)	$8,1 \times 10^6$ (FC)
	21-65% de $S_u$	$13,0 \times 10^6$ (FC)	$12,0 \times 10^6$ (FC) $15,0 \times 10^6$ (IWRC)	$11,6 \times 10^6$ (FC) $14,0 \times 10^6$ (IWRC)	$9,0 \times 10^6$
Diâmetro mínimo recomendado para polia ou tambor, $(d_t)_{min}$ , in		$42 d_c$	$34 d_c$	$18 d_c$	$26 d_c$

## PASSO 05 –

Estimar a tensão de flexão dos arames externos usando:

$$\sigma_{flexão} = \frac{M c_a}{I_a} = \frac{M \left( \frac{d_a}{2} \right)}{\left( \frac{M d_1}{2 E_c} \right)} = \frac{d_a}{d_1} E_c$$

$d_a$  = diâmetro do arame

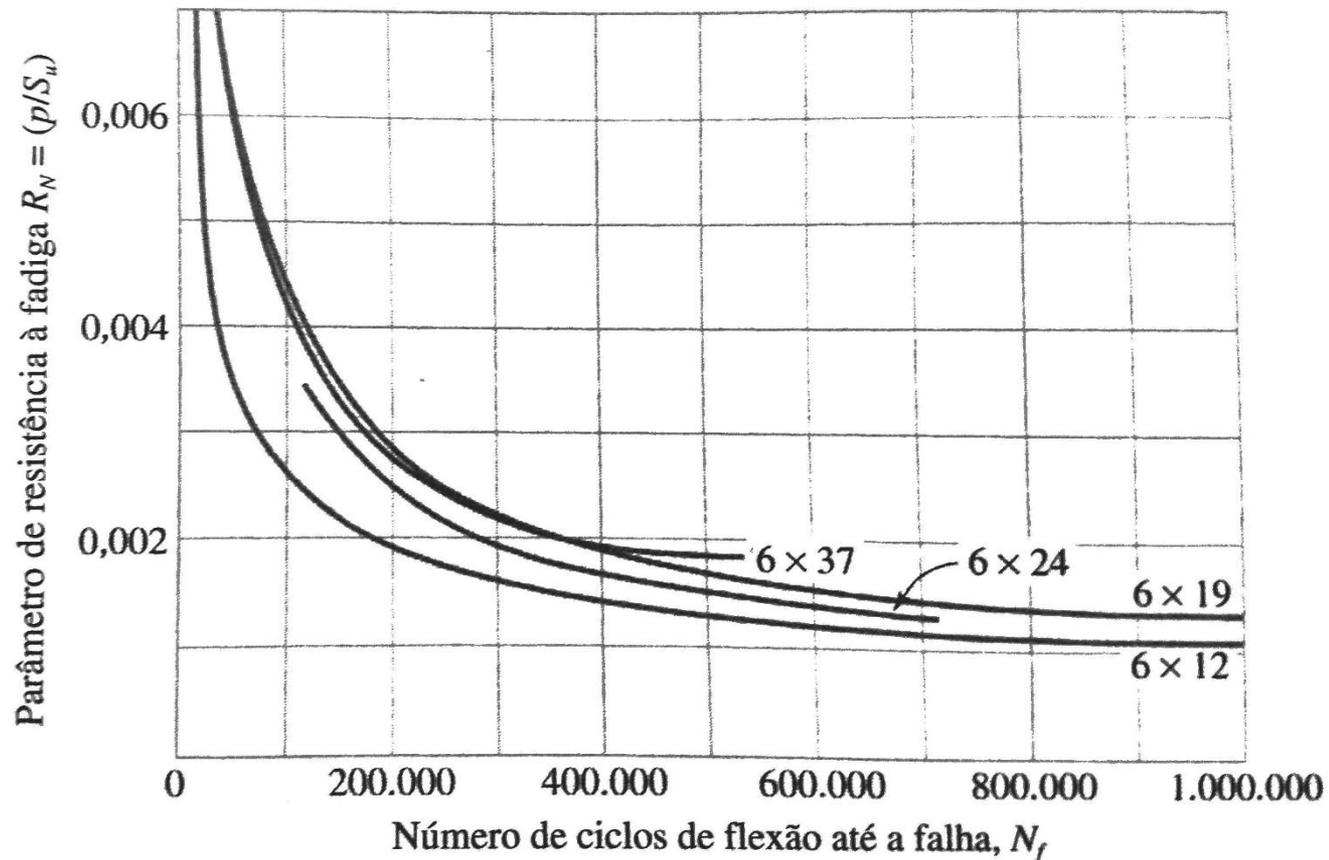
$d_1$  = diâmetro da polia

$E_c$  = módulo de elasticidade do cabo

## PASSO 06 –

Utilizando os requisitos de vida do projeto  $N_d$ , usar a figura abaixo para relacionar: tipo de cabo com números de ciclos até a fadiga e

até a fadiga e consequentemente encontrar o parâmetro de resistência a fadiga  $R_n$



A partir do valor de  $R_n$  calculado e do fator de segurança obtido no passo 02 é possível então determinar a bitola necessária para o cabo baseado na fadiga.

## PASSO 07 –

A partir da tabela da máxima pressão de contato admissível baseada em experiência, relacionada ao desgaste, entre cabo e tambores ou polias, de vários materiais, determina-se a pressão limite baseado ao desgaste para a classe de cabo escolhida e o material da polia ou tambor.

E é calculado o diâmetro do cabo baseado no desgaste.

## **PASSO 08 –**

A partir dos valores de diâmetro encontrado anteriormente identifica-se a maior bitola e então é selecionada a bitola nominal padrão do cabo de aço que iguale ou que supere imediatamente esse valor.

## **PASSO 09 –**

Refazer os cálculos utilizando esse cabo de aço padrão selecionado.

Caso seja necessário modificar a seleção.

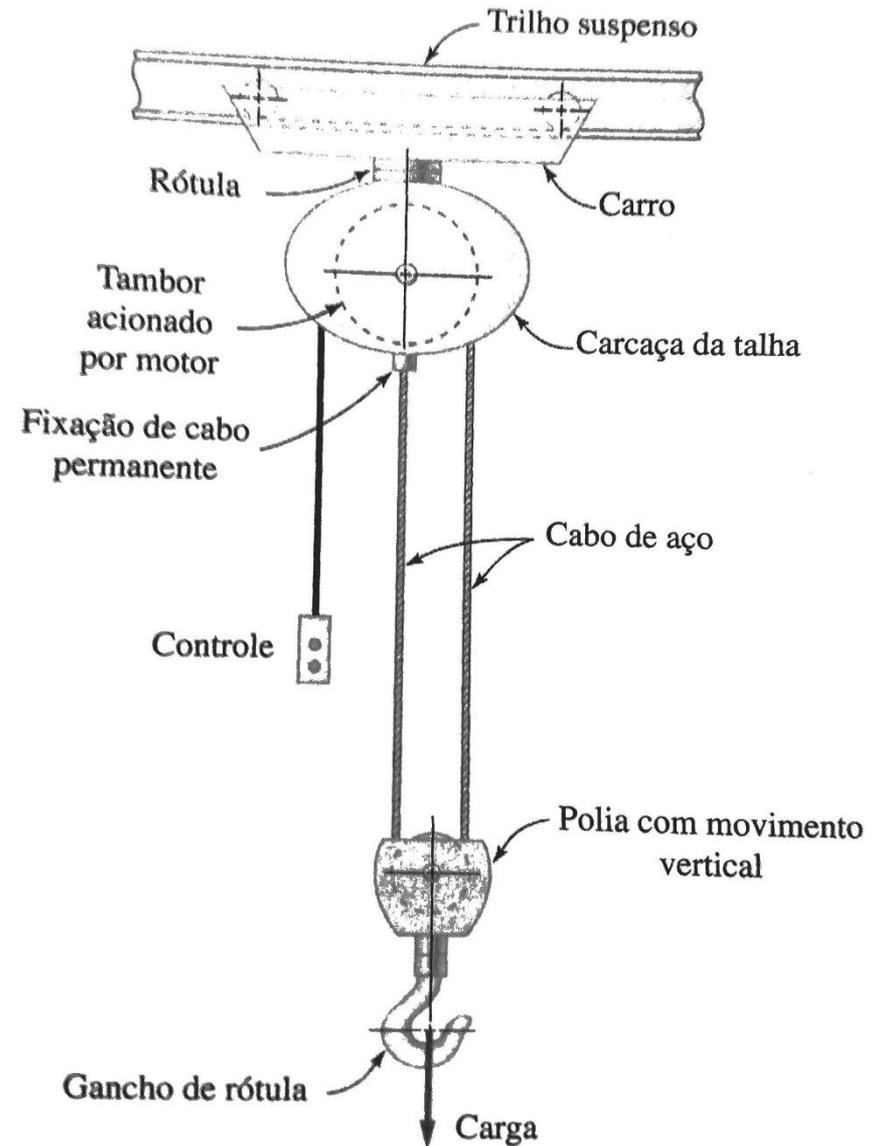
## PASSO 10 –

Resuma os resultados, incluindo:

- ✓ Bitola do cabo padrão necessário;
- ✓ A construção do cabo
- ✓ Material do cabo, das polias e do tambor
- ✓ Diâmetros da polia e do tambor
- ✓ Outros requisitos especiais.

## Exercício:

Um guincho para elevar **1 tonelada** deve ser projetado para operar como uma talha de baixa velocidade de levantamento de carga. Dois cabos de aço são usados para suportar a carga, que estão conectados a uma polia que se move verticalmente como um gancho de rótula, como indica a figura ao lado



A vida de projeto desejada para o cabo de aço é de **2 anos**, e aproximadamente, **15 elevações por hora** devem ser feitas, durante **8 horas por dia** e **por 250 dias por ano**, selecione o cabo de aço ideal para essa aplicação.

Ocasionalmente podem ocorrer que cargas sejam aplicadas subitamente.

Fator de segurança deve ser **5** baseado na resistência última estática.



***EESC • USP***

[www.eesc.usp.br](http://www.eesc.usp.br)