

APOSTILA
do Prof. Eduardo

Projeto de Máquinas


Projeto de elementos de transmissão

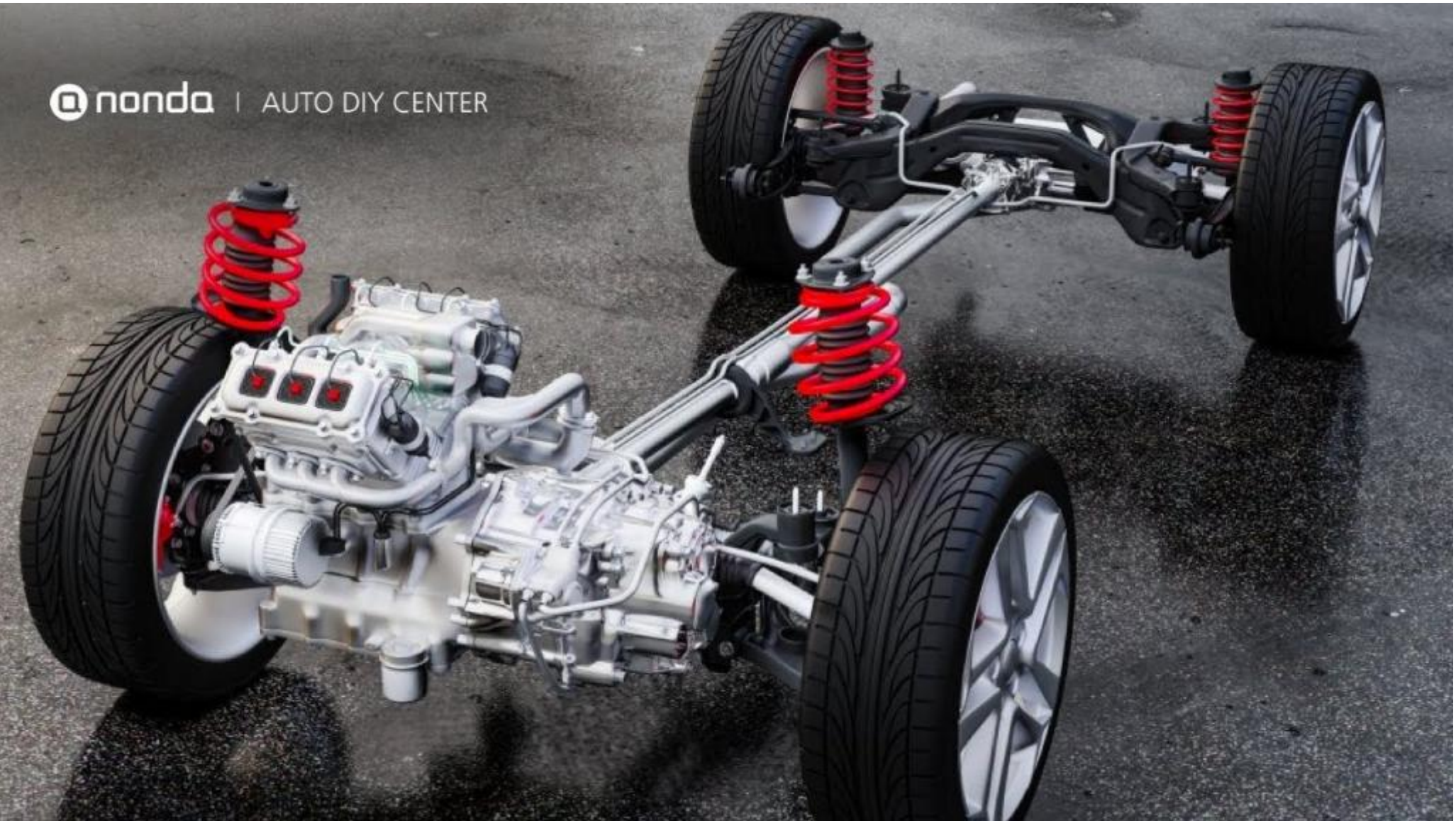
Prof. Eduardo Furlan
2023



Molas



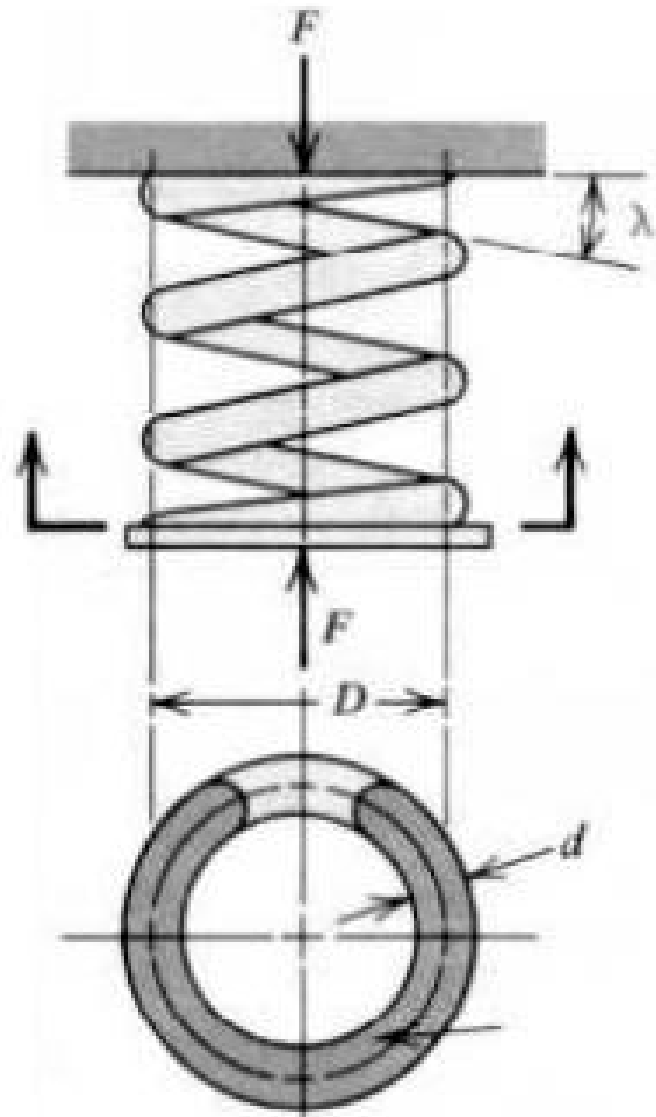
 **nonda** | AUTO DIY CENTER



Molas

- Elemento que faz parte dos sistemas de transmissão de potência
- Usada para armazenamento de cargas, amortecimento de choque, distribuição de cargas, limitação de vazão, preservação de junções ou contatos
- Definidas como elementos de máquina que
 - Apresentam deformação elástica quando são carregadas
 - Quando a carga é removida recuperam a sua forma inicial

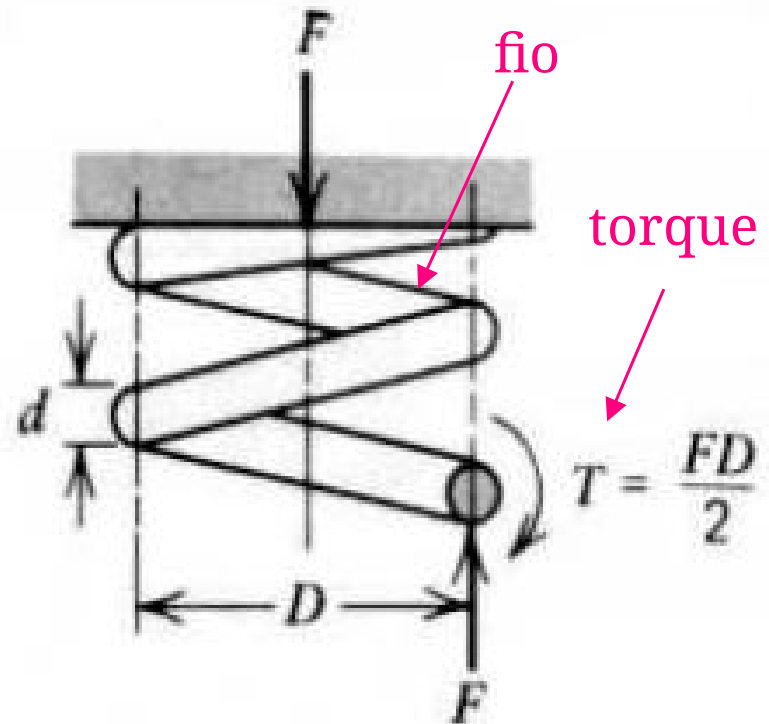
- As molas helicoidais são as mais usadas na mecânica e geralmente são feitas com arames de aços
- Seções retangulares, circulares ou quadradas
- Formato cilíndrico, cônico ou bicônico



(a)

mola helicoidal em repouso

ângulo de
hélice ou
de espira



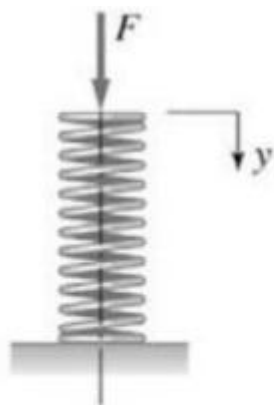
(b)

mola helicoidal comprimida

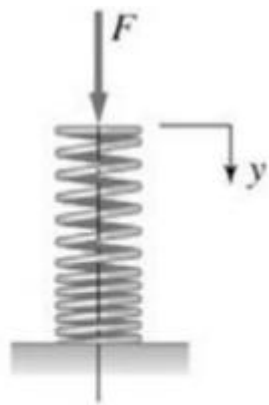
torque

$$T = \frac{FD}{2}$$

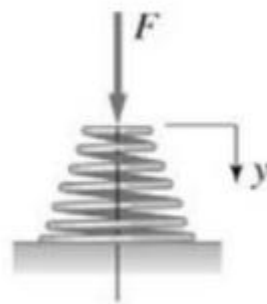
Tipos de molas



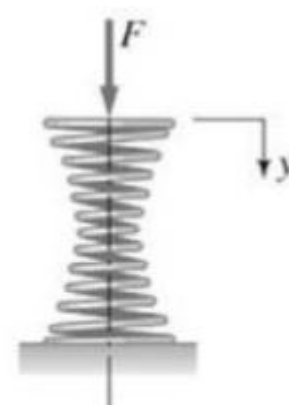
(a) De compressão padrão; passo fixo; linear; constante de mola



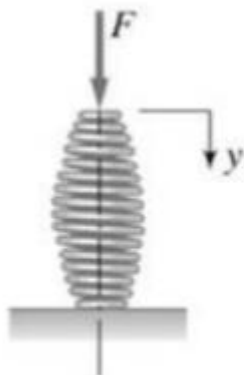
(b) Passo variável; não-linear; empurra; resiste à ressonância.



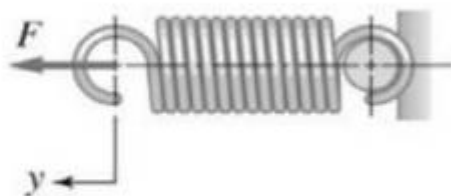
(c) Cônica; linear ou com endurecimento; empurra; altura sólida mínima.



(d) Forma de ampulheta; não-linear; empurra; resiste à ressonância.



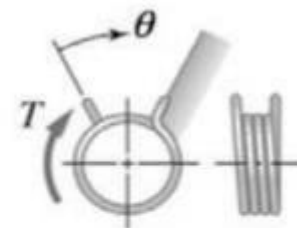
(e) Barril; não-linear; empurra; resiste à ressonância.



(f) Mola de tração fechada padrão; linear após a abertura da mola; puxa.



(g) Barra de extensão; linear até atingir o batente; puxa.

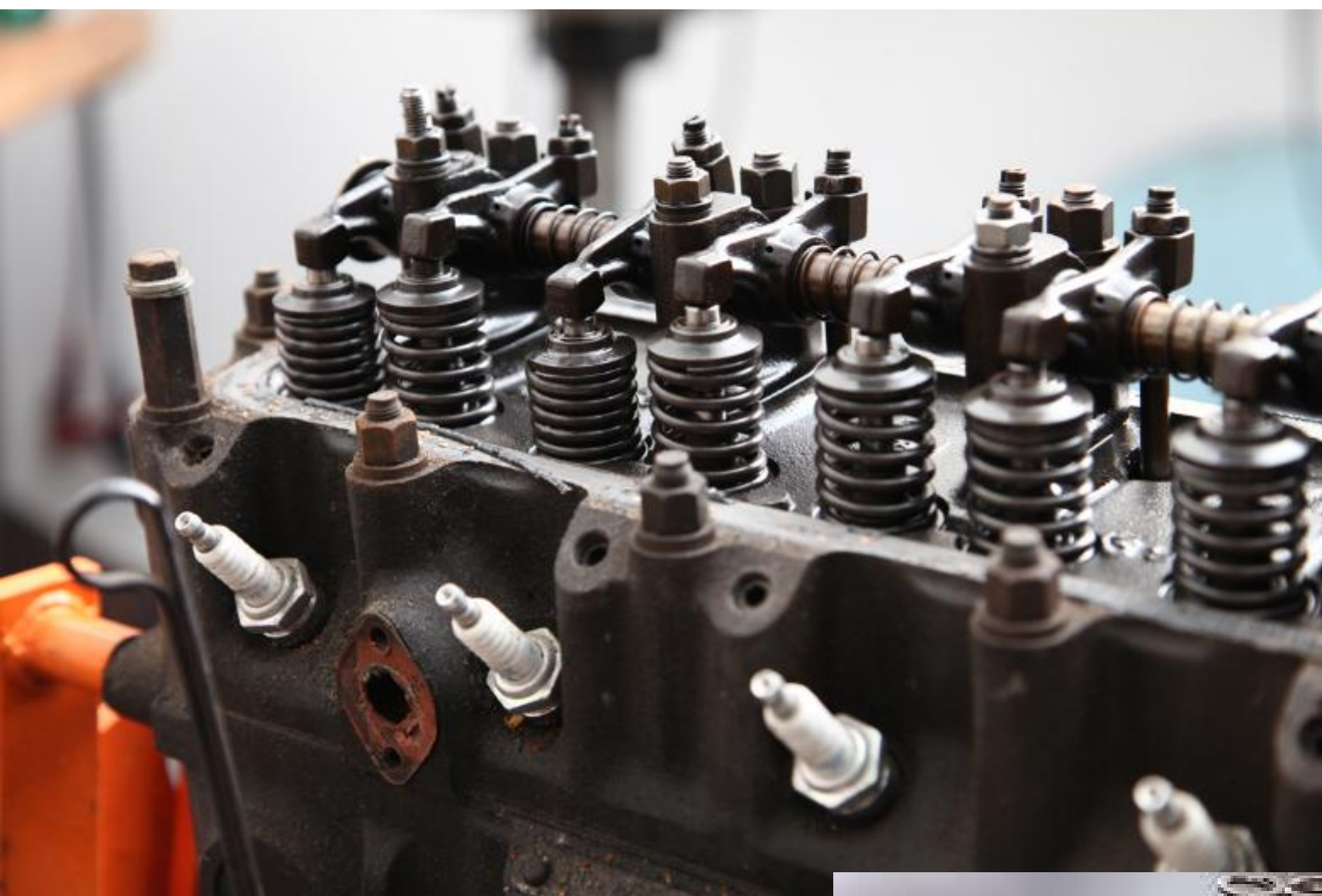


(h) Torção helicoidal; linear; constante de mola constante; torce.

Tipos de molas helicoidais

- Molas helicoidais de compressão
 - Podem ser cilíndricas, cônicas ou bicônicas
 - Funcionamento simples
 - Ao aplicar uma força de compressão, os espaços entre as espiras diminuem, tornando o menor comprimento possível
 - Ao cessar a força, a mola volta ao estado de repouso
- Utilizado em furador de papéis, camas, alicates, amortecedores, entre outras aplicações





Tipos de molas helicoidais



- Molas helicoidais de tração
 - Funcionamento inverso ao das molas de compressão
 - Têm ganchos em suas extremidades e não existe espaço entre as espiras
 - Quando se aplica uma força de tração suas espiras se afastam, aumentando o comprimento da mola
 - O comprimento da mola volta ao normal em seu estado de repouso
 - Utilizadas em camas elásticas, grampeadores, relógios, máquinas industriais

Tipos de molas helicoidais

- Molas helicoidais de torção
 - Estão sujeitas a uma torção de extremidade
 - Geralmente seu enrolamento é fechado, porém com tração desprezível
 - São usadas nos prendedores de roupa, impressoras, eletrodomésticos e máquinas industriais



Molas helicoidais

- Um dos fatores importantes a ser calculado são as tensões
- A tensão máxima no fio pode ser calculada pela
 - Superposição da tensão de cisalhamento direto
 - Tensão de cisalhamento de torção

Tensão máxima no fio da mola

$$\tau = \frac{8KFD}{\pi d^3} = \frac{8KFC}{\pi d^2}$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento

D = diâmetro médio da mola

d = diâmetro do arame

F = força

C = índice de curvatura da mola $C = D / d$

K = fator de correção (vide próximo slide)

Fator de correção K

- Para calcular os carregamentos dinâmicos e estáticos

K_w = carregamento dinâmico (também conhecido como fator de Wahl).

K_s = carregamento estático (sem concentração de tensões).

$$K_w = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0,165}{C}$$

$$K_s = 1 + \frac{0,615}{C}$$

$C = D / d$ índice de curvatura da mola

Deflexão das molas

- A relação de deflexão-força é obtida usando o teorema de Castigliano

$$U = \int_0^L \frac{M^2}{2EI} dx$$

U = energia de deformação

M = momento fletor

E = módulo de elasticidade do material

I = momento de inércia

- A energia total de deformação para uma mola helicoidal é composta de
 - Uma componente de torção
 - Uma componente de cisalhamento
- As molas com carregamento variável devem trabalhar longe da frequência natural
- A frequência crítica das molas (ondas de ressonância) helicoidais acontece se uma extremidade de uma mola de compressão estiver fixada a uma superfície plana e a outra extremidade for perturbada
 - Ex.: ondas de ressonância em molas do cabeçote do motor de combustão

Frequência crítica de molas helicoidais

$$f = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{Kg}{W}}$$

f = frequência crítica

K = razão (rigidez) da mola = F/y = Força/deflexão[mm]

g = aceleração da gravidade

W = peso da mola

- Essa frequência crítica deve estar entre 15 Hz e 20 Hz, para se evitar a ressonância com os harmônicos, já que a vibração pode gerar defeito
- A mola que passa por vários ciclos de operação sem falha deve ser projetada para uma vida infinita
- Para melhorar a resistência à fadiga, são usados jateamento de esferas para adiar o trincamento por corrosão sob tensão

- A resistência das molas depende do diâmetro do fio
- As molas com fios menores têm parte de sua seção transversal afetada pelo processo de estiramento, tornando-se mais resistente

Correntes



Corrente

- Elemento de máquina altamente eficiente e versátil para transmitir potência
- Geralmente as correntes são utilizadas nas transmissões de máquinas agrícolas e florestais
- Elas são de elos estampados e fundidos, utilizadas para baixas velocidades

- Correntes de rolos são utilizadas em bicicletas e motocicletas
- A transmissão por correntes só pode ser utilizada entre eixos paralelos e com rodas dentadas que estejam perfeitamente alinhadas
- As velocidades não ultrapassam 20 m/s

- O rendimento desse tipo de transmissão fica entre 97% e 98%
- As perdas acontecem principalmente pela dissipação de calor, o que exige desse tipo de transmissão cuidados com a lubrificação

- A relação cinemática das correntes são as mesmas das correias, conforme a equação

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

N = rotação

Z = número de dentes da roda dentada

T = torque

- O comprimento da corrente refere-se ao número de elos definido na equação

$$n = \frac{2l}{p} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{p}{l}$$

n = número de elos da corrente

Z = número de dentes das rodas dentadas

p = passo das rodas e da corrente

l = distância entre centros das árvores

Exemplo

- Uma transmissão por meio de corrente entre um motor estacionário e um picador tem torque de 15 N.m
- A rotação em que esse motor trabalha é de 1.500 rpm
- O número de dentes da roda dentada motora é de 15, e da movida é de 35
- O rendimento estimado é de 98%
- O passo da corrente e das rodas dentadas é de 12,7 mm
- A distância entre os eixos é de 1,0 m
- Qual será a potência disponível no eixo do picador?

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \rightarrow \quad \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{T_1 Z_2}{Z_1} = \frac{15Nm \times 35}{15} \times 0,98 = 34,3Nm$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$N_2 = \frac{N_1 Z_1}{Z_2} = \frac{1.500rpm \times 15}{35} = 642,9rpm$$

$$P_2 = 2\pi N_2 T_2 = \frac{2 \times \pi \times 642,9 \times 34,3}{60} = 2.309W$$

Cabos de aço



Cabos de aço

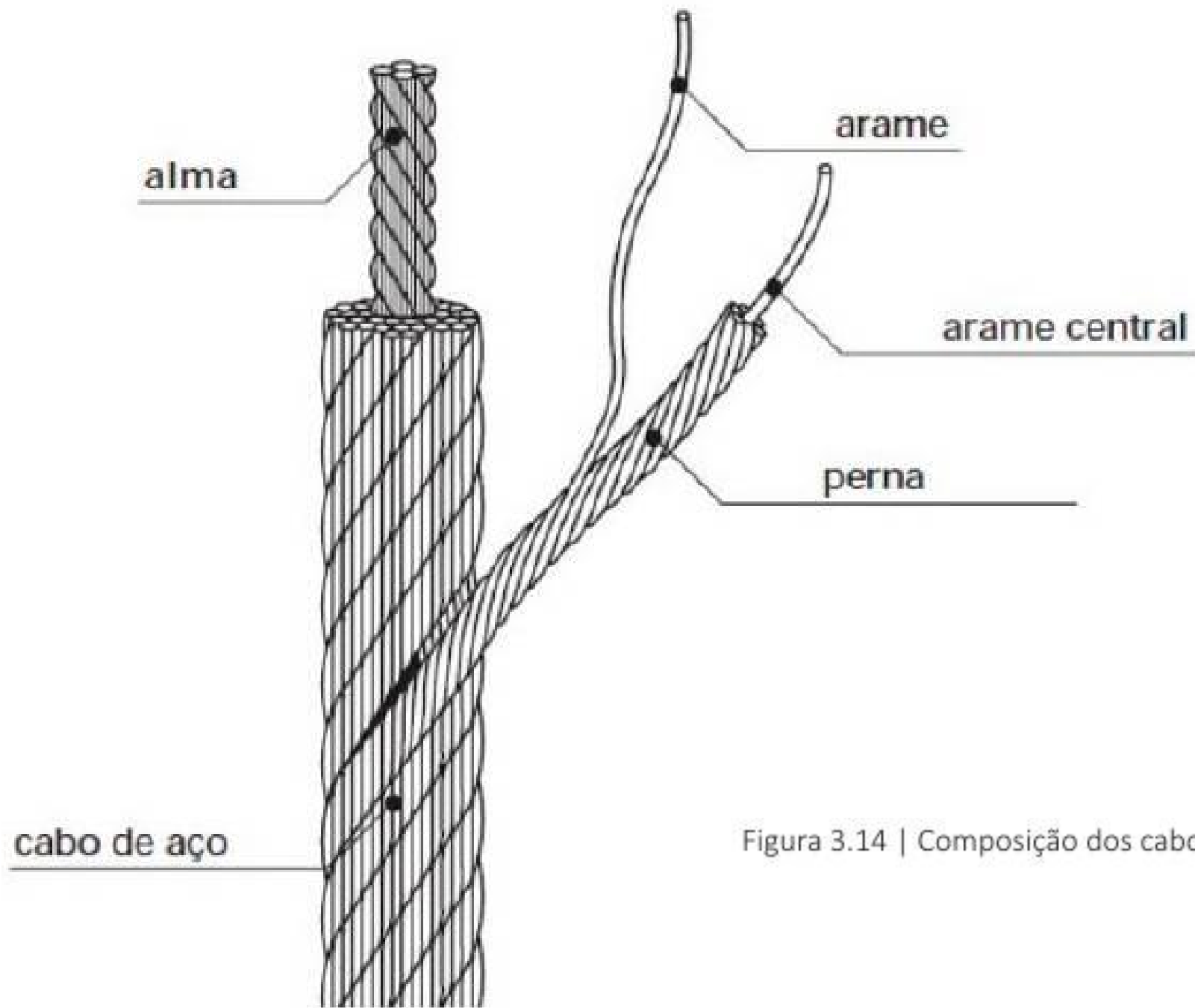


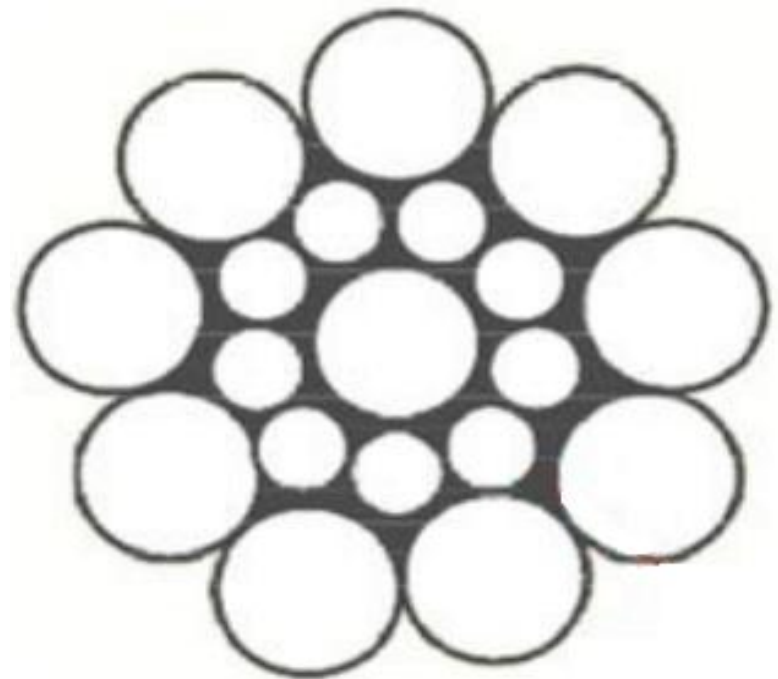
Figura 3.14 | Composição dos cabos de aço

Cabos de aço

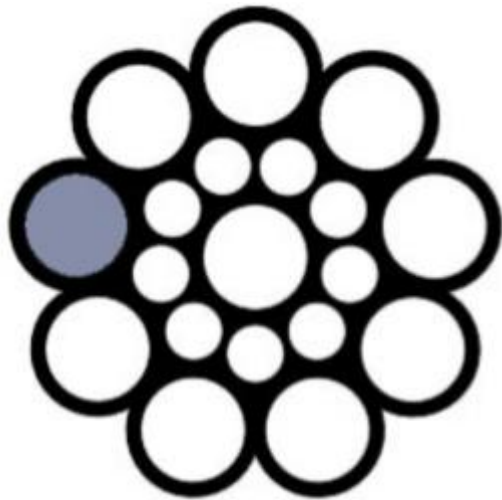
- Os cabos de aço são elementos de transmissão que suportam cargas e fazem o deslocamento nas posições horizontais, verticais ou inclinadas
- A perna é composta de duas camadas
 - A primeira é o arame central composto de um fio
 - A segunda é o arame composto de seis fios
- Todos os arames têm o mesmo diâmetro

Composição Seale

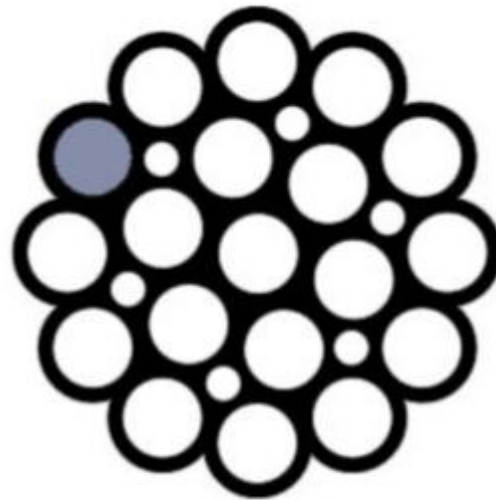
- Apresenta pelo menos duas camadas adjacentes com o mesmo número de arames
- Porém, a camada externa tem arames com diâmetro maior para aumentar a resistência ao desgaste



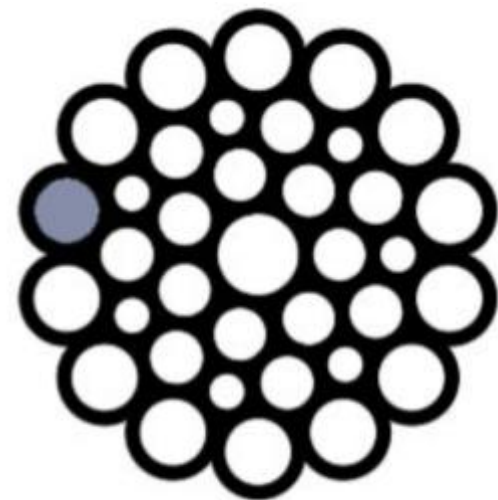
Composições Filler e Warrington



Seale 19S



Filler 25F



Warrington
Seale 36WS

Composições Filler e Warrington

- Filler

- Onde o cabo tem arames muito finos entre as duas camadas
- A vantagem desse tipo de composição é aumentar a área de contato, a flexibilidade, a resistência ao amassamento e redução do desgaste entre os arames

- Warrington

- Onde existe pelo menos uma camada constituída de arames de dois diâmetros diferentes e alternados.
- A vantagem dessa composição é a boa resistência ao desgaste e à fadiga

Alma

- Núcleo em torno do qual as pernas são torcidas e ficam dispostas em forma de hélice
- Sua principal função é fazer com que as pernas sejam posicionadas de tal forma que o esforço aplicado no cabo de aço seja distribuído uniformemente entre elas
- A alma pode ser feita em fibra natural ou artificial, ou ainda ser formada por perna ou cabo de aço independente

Fibra

The fibre core offers high flexibility
in this strand of steel wire rope



Hemp Core



Fibra

- A fibra natural mais utilizada é o sisal ou rami, porém pode ser algodão ou asbesto
- Já a fibra artificial mais usada é o polipropileno
 - Esta é utilizada para cargas leves
- As vantagens da fibra artificial é que dá mais flexibilidade, não se deteriora em contato com agentes agressivos e não absorve umidade
- Porém, também tem desvantagens, pois é mais cara e só é utilizada em cabos especiais

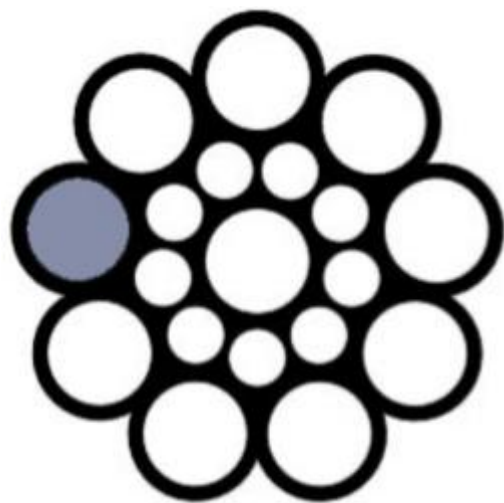
Alma de aço

- Existe também a alma do aço, ou seja, a alma formada pela perna do próprio cabo de aço
- A alma também pode ser fabricada com aços especiais, de alta resistência
- Nesse caso são usadas para cargas mais pesadas, pois oferecem maior resistência ao amassamento e à tração

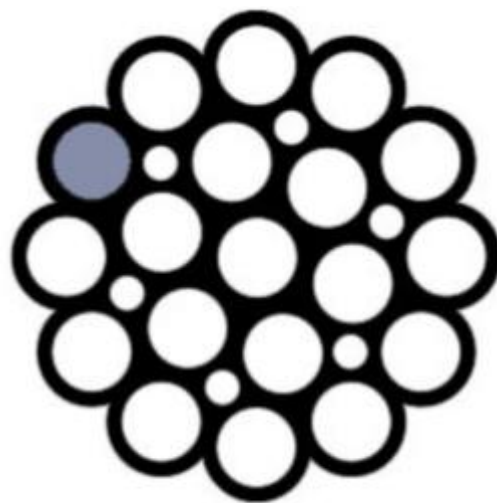


Passos para escolha do cabo

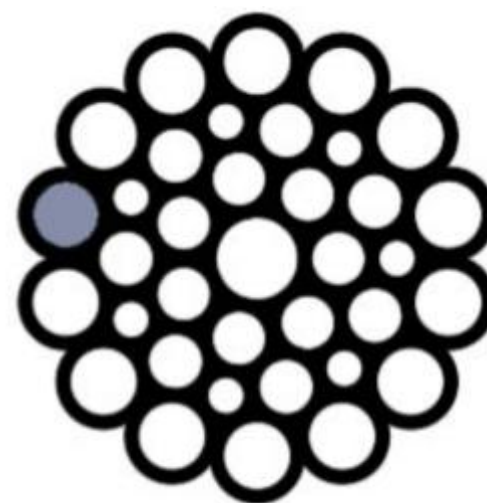
- Estabelecer as especificações do projeto
- Selecionar por tentativa a construção do cabo
- Selecionar o material do cabo
- Calcular a bitola do cabo preliminar
- Utilizar a bitola para determinar o diâmetro mínimo da polia
- Estimar a tensão de flexão dos arames



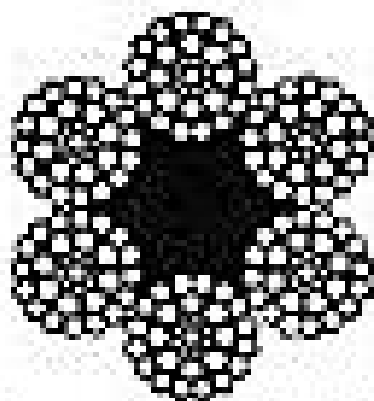
Seale 19S



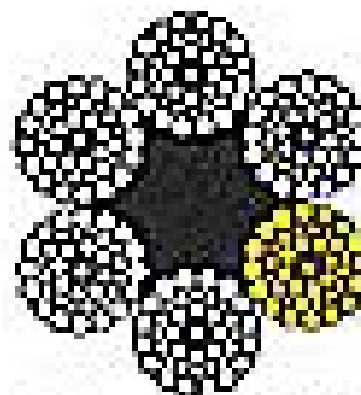
Filler 25F



Warrington
Seale 36WS

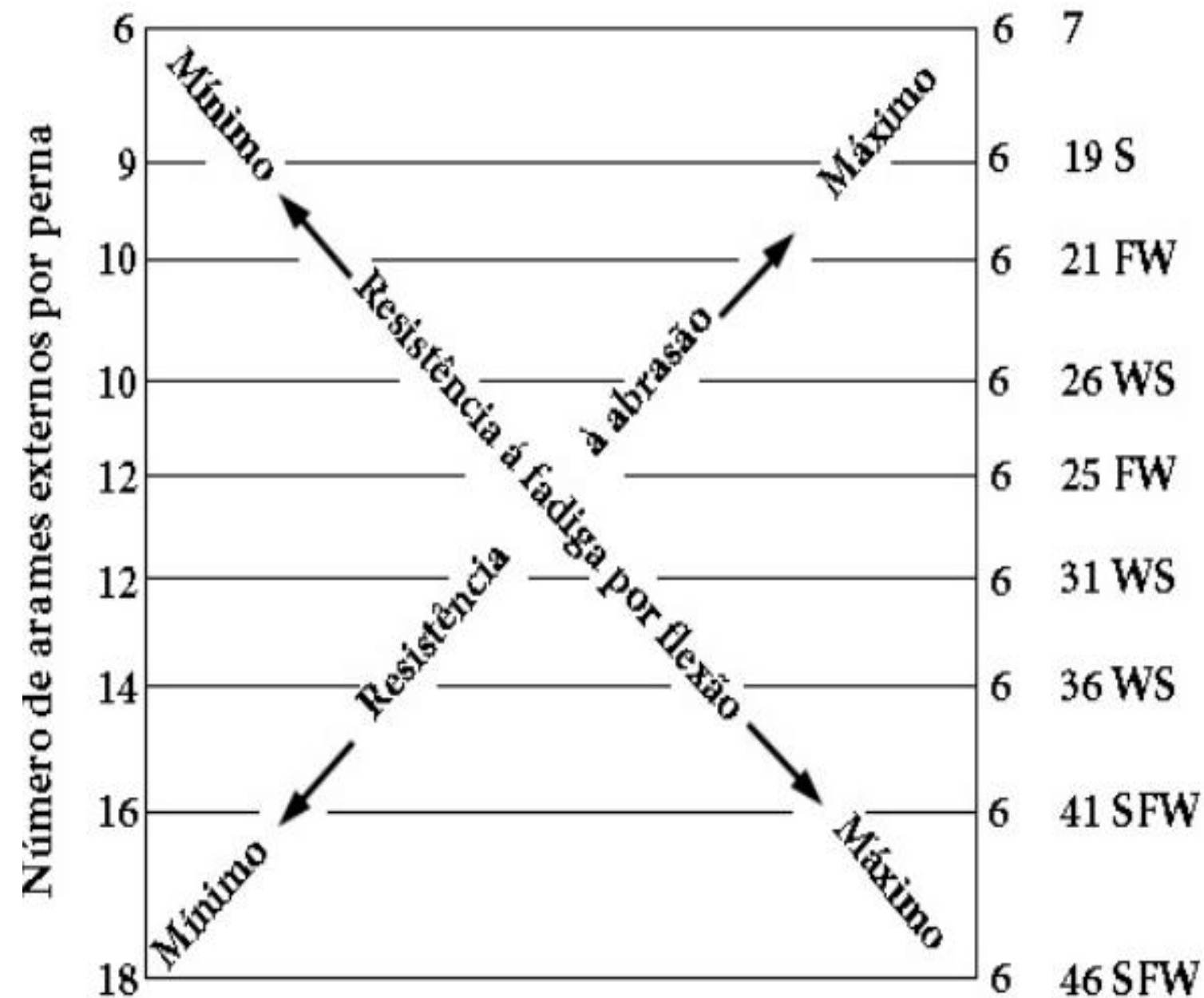


6 x 41 SFW
Seale Filler Wire



6 x 49 SWS
Warrington Seale

Seleção de cabos



Padrão de pernas:

S = Scale

FW = Filler wire

WS = Warrinton seale

SFW = Seale filler wire

- Cabos de aço devem ser lubrificados
 - Necessário para proteger o cabo contra a corrosão
 - Reduzir o desgaste por atrito
- Características de um bom lubrificante para os cabos
 - Ser quimicamente neutro
 - Ter boa aderência
 - Viscosidade para penetrar entre pernas e outros arames
 - Estável sob condições operacionais
 - Proteger contra a corrosão
 - Ser compatível com o lubrificante original

- Os cabos podem ser de dois tipos
 - Cabos não pré-formados
 - Esse tipo de cabo tem um processo de fabricação normal
 - Cabos pré-formados
 - Para fabricar esse tipo de cabo é aplicado um processo adicional onde as pernas e os arames ficam torcidos de forma helicoidal e permanecem colocados dentro do cabo na posição natural, gerando o mínimo de tensão interna



- Algumas vantagens de se utilizar os cabos pré-formados
 - Manuseio facilitado pela ausência de tensões internas
 - O equilíbrio do cabo é garantido, pois cada perna tem a mesma tensão que a outra, dividindo as cargas
 - O manuseio é mais seguro porque o cabo é isento de tensões, logo, não tem a tendência de escapar

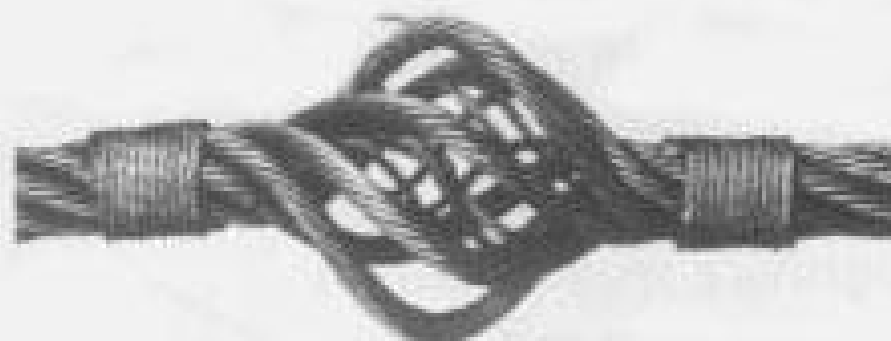
- Os cabos podem apresentar deformações
- Essas deformações são ocasionadas devido
 - Ao mau uso
 - À irregularidades no equipamento
 - Métodos inadequados de manuseio e fixação

Tipos de deformações

DISTORÇÕES MAIS COMUNS



ALMA SALTADA



"GAIOLA DE PASSARINHO"

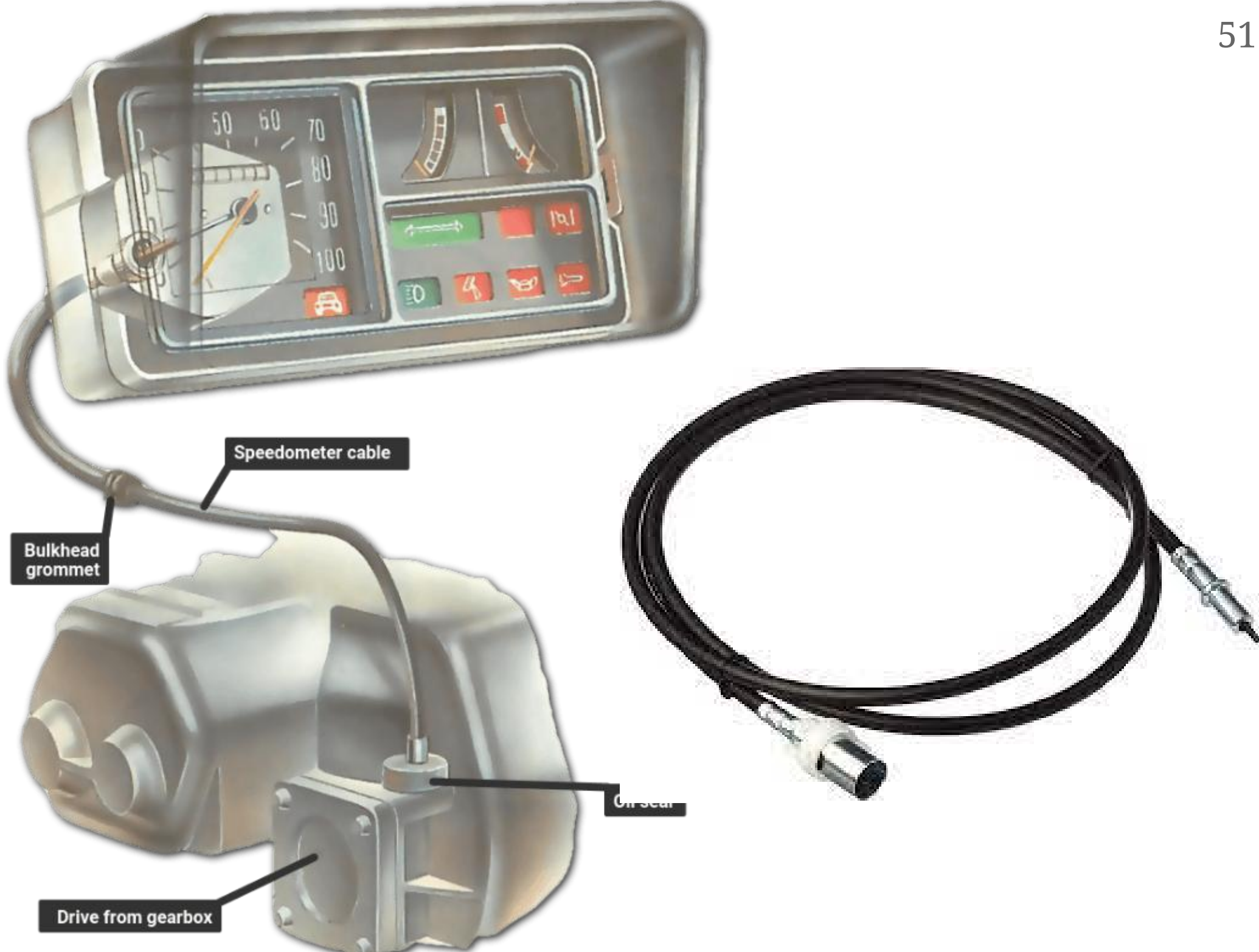


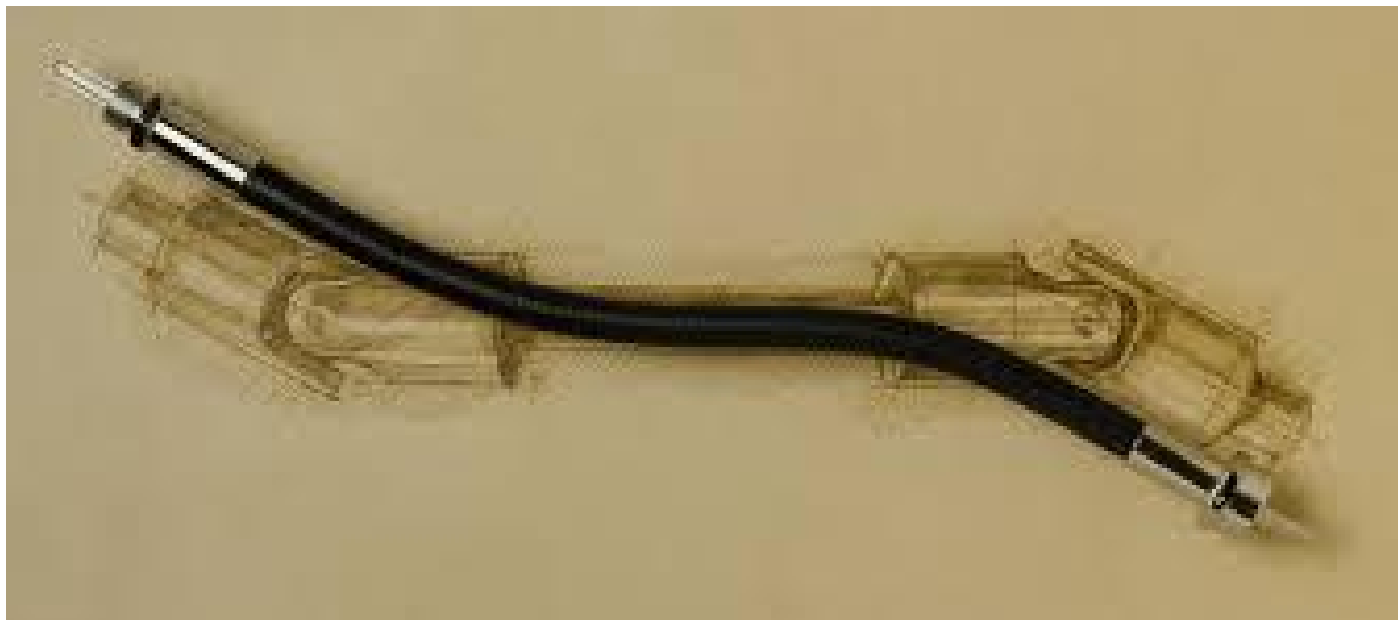
DOBRA

Tipos de deformações

- **Ondulações**: eixo longitudinal do cabo assume forma de hélice
- **Amassamento**: nessa situação, o cabo deve ser substituído por um com alma de aço
- **Gaiola de passarinho**: acontece em cabo de aço com alma de aço quando ocorre um alívio repentino da tensão
- **Alma saltada**: também é causada pelo alívio repentino da tensão
- **Dobra ou nó**: descontinuidade no sentido longitudinal do cabo

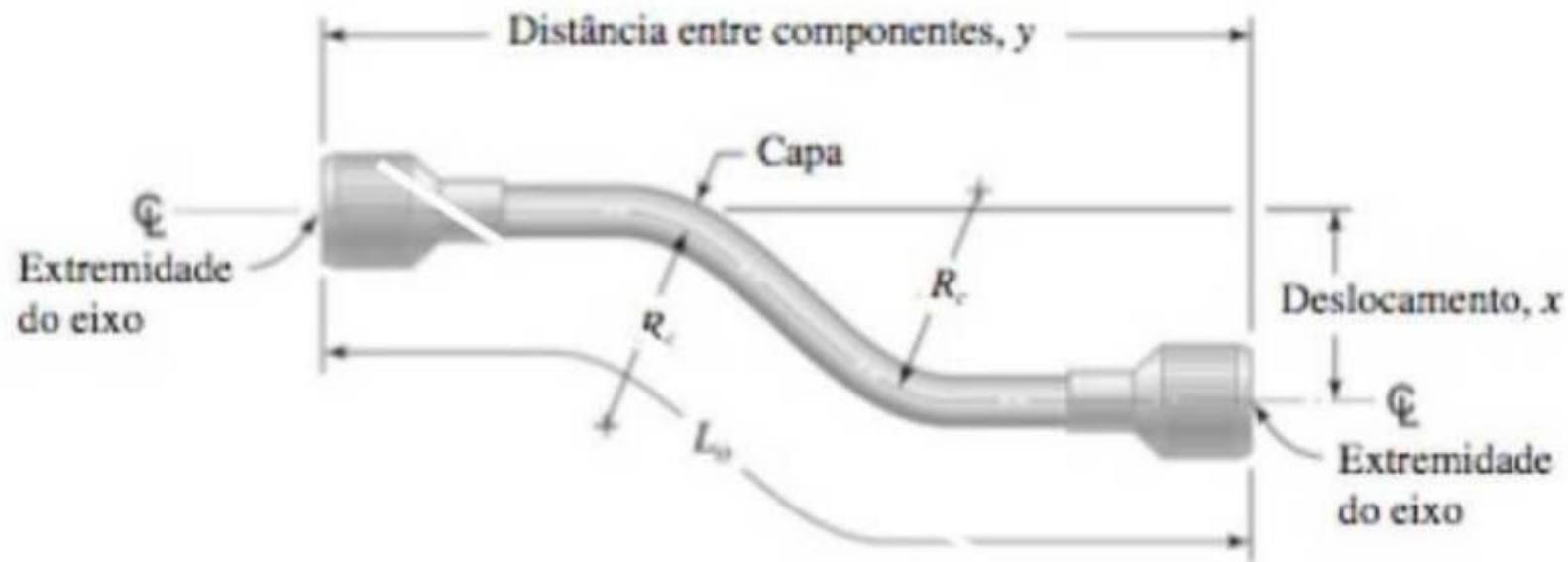
Eixos flexíveis





Eixos flexíveis

Figura 3.17 | Eixo flexível



- Utilizados quando ocorre problemas de desalinhamento ou quando há a necessidade de grandes deslocamentos entre eixos rotativos

Eixos flexíveis

- São construídos com uma quantidade de 1 a 12 camadas de arames curvados em forma de hélice
- Normalmente o arame utilizado para aplicações de transmissão de potência é de aço carbono com tratamento térmico e alívio de tensões



Dimensionamento de eixo flexível

$$T = \frac{63025(HP)}{n}$$

Onde:

T = torque (lbf . in)

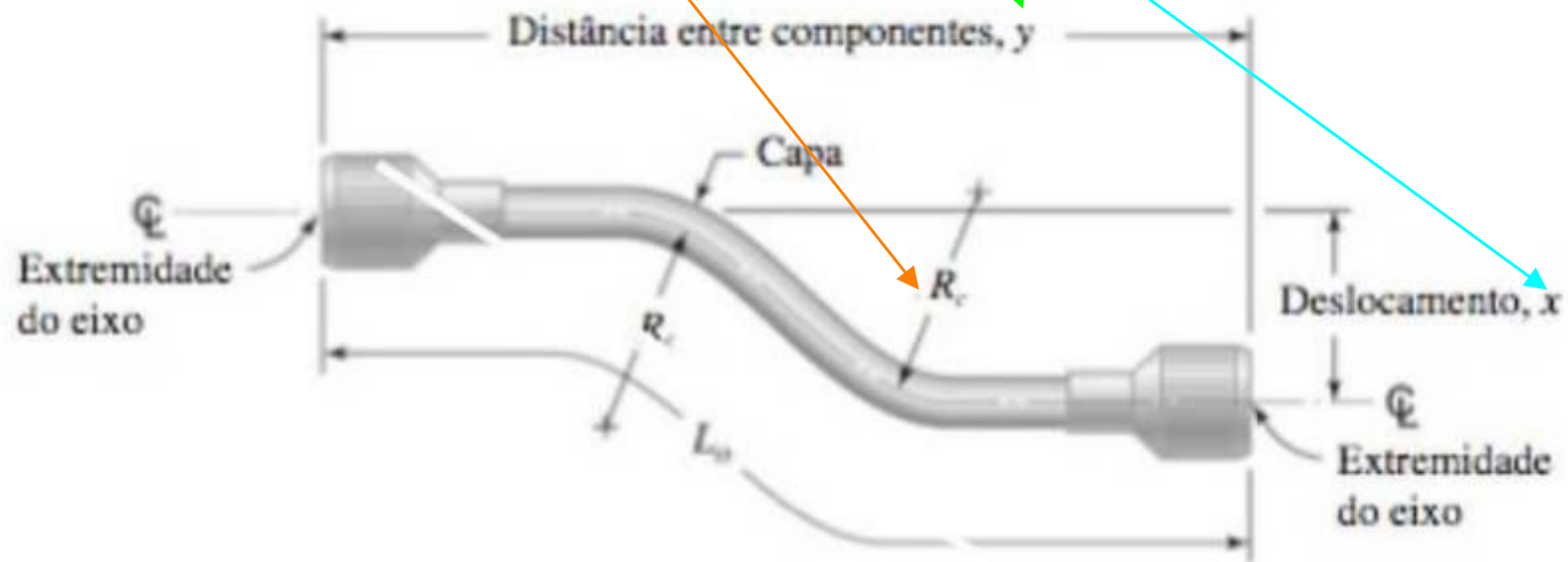
n = velocidade angular (rpm)

HP = potência (HP)

Raio de curvatura R_c

$$R_c = \frac{x^2 + y^2}{4x}$$

Figura 3.17 | Eixo flexível



Referências

BUDYNAS, R. G. Elementos De Maquinas De Shigley. 8ª edição. [S. l.]: AMGH, 2011.

COLLISN, J. A.; BUSBY, H. R.; STAAB, G. H. Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas: uma Perspectiva de Prevenção da Falha. 2ª edição. [S. l.]: LTC, 2019.

LOBO, Y. R. de O.; JÚNIOR, I. E. de O.; ESTAMBASSE, E. C.; SHIGUEMOTO, A. C. G. Projeto de máquinas. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.

NORTON, R. L.; BOOKMAN, E.; STAVROPOULOS, K. D.; AGUIAR, J. B. de; AGUIAR, J. M. de; MACHNIEVSCZ, R.; CASTRO, J. F. de. Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada. 4ª edição. [S. l.]: Bookman, 2013.

APOSTILA
do Prof. Eduardo

<https://github.com/efurlanm/teaching/>

Prof. Eduardo Furlan
2023

