



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

# **Elementos de Máquinas para Automação**

**PMR 3307 – A20**

**Cabos de aço**

**2023.2**



## CABOS de AÇO

Cabos em si não são um elementos de máquinas, estes podem ser usados como elementos de transmissão, tal qual correias e correntes, mas seu uso principal é como elemento de estrutural, sustentação e transmissão de forças em uma série de problemas de engenharia, tais como elevadores e pontes rolantes.

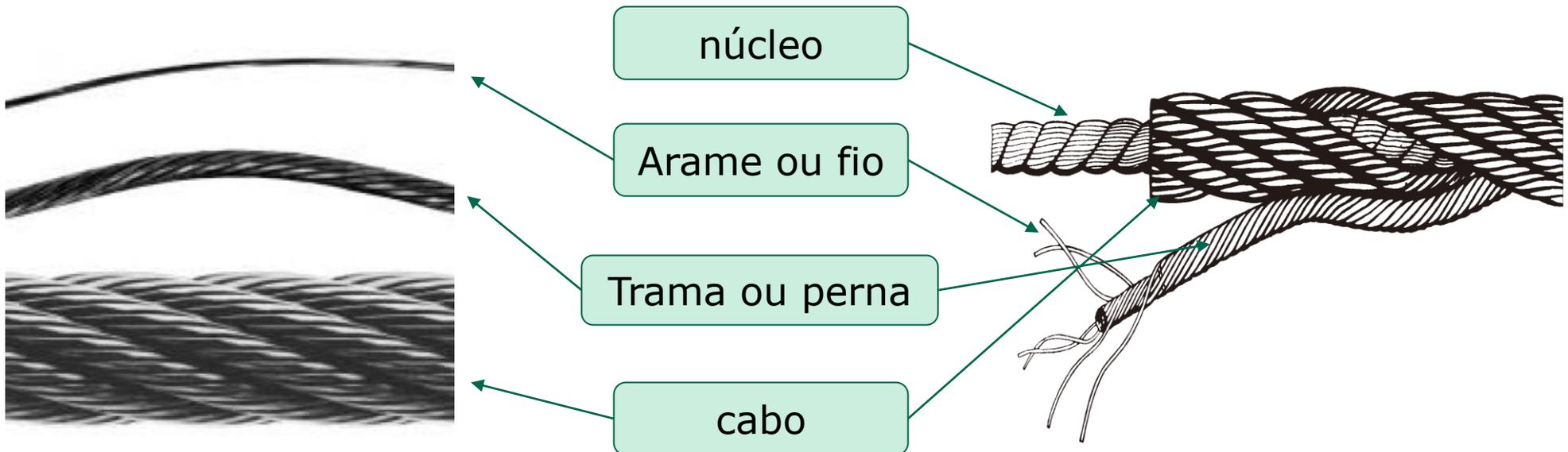




## CABOS de AÇO

### Constituintes

A construção dos cabos difere dependendo do número de fios, o número e a posição dos fios na vertente e da presença e tipo do núcleo.



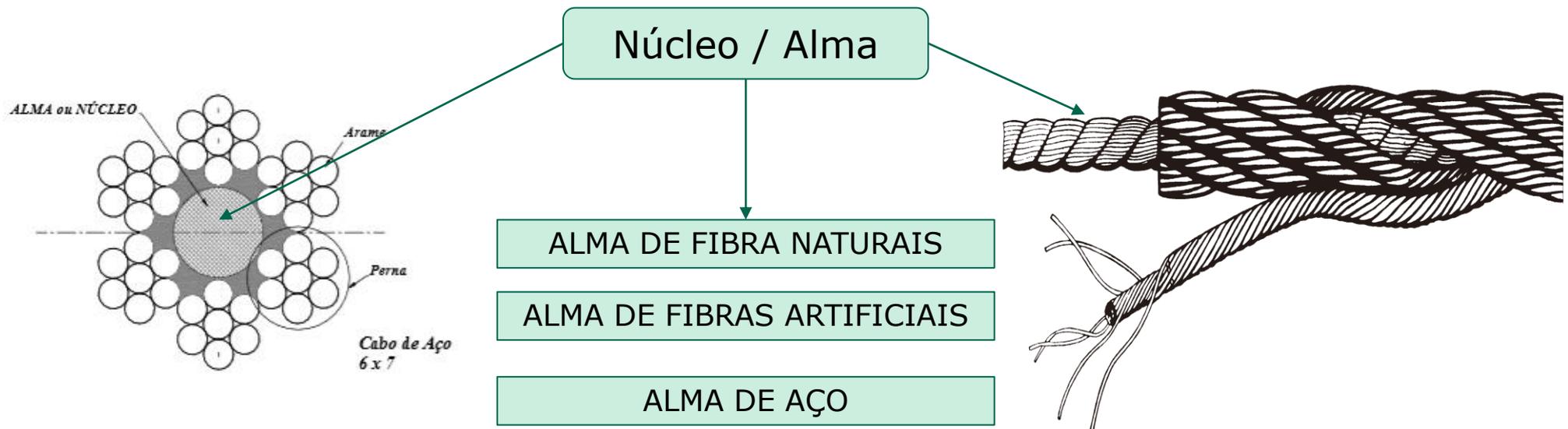
| % C       | % Si    | % Mn      | P+S      |
|-----------|---------|-----------|----------|
| 0,3 a 0,8 | máx 0,3 | 0,4 a 0,8 | máx 0.04 |



## CABOS de AÇO

### NÚCLEO OU ALMA

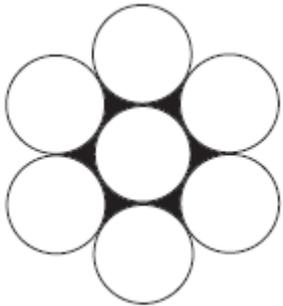
O núcleo dos cabos de aço serve de suporte para os arames e pernas. Podem ser fabricado com diferentes materiais e por isso recebem as seguintes denominações



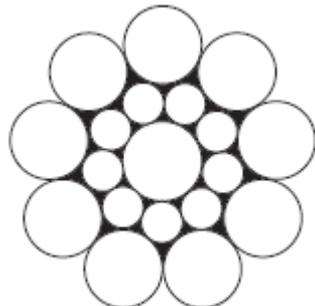


## CABOS de AÇO

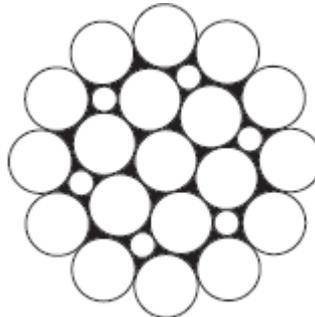
### Classificação



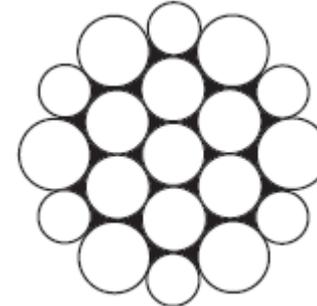
simples



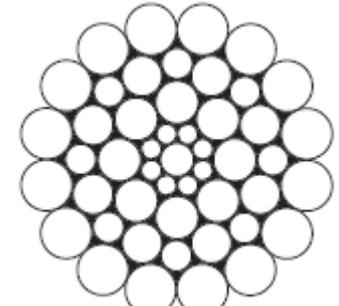
selado



preenchido



WARRINGTON

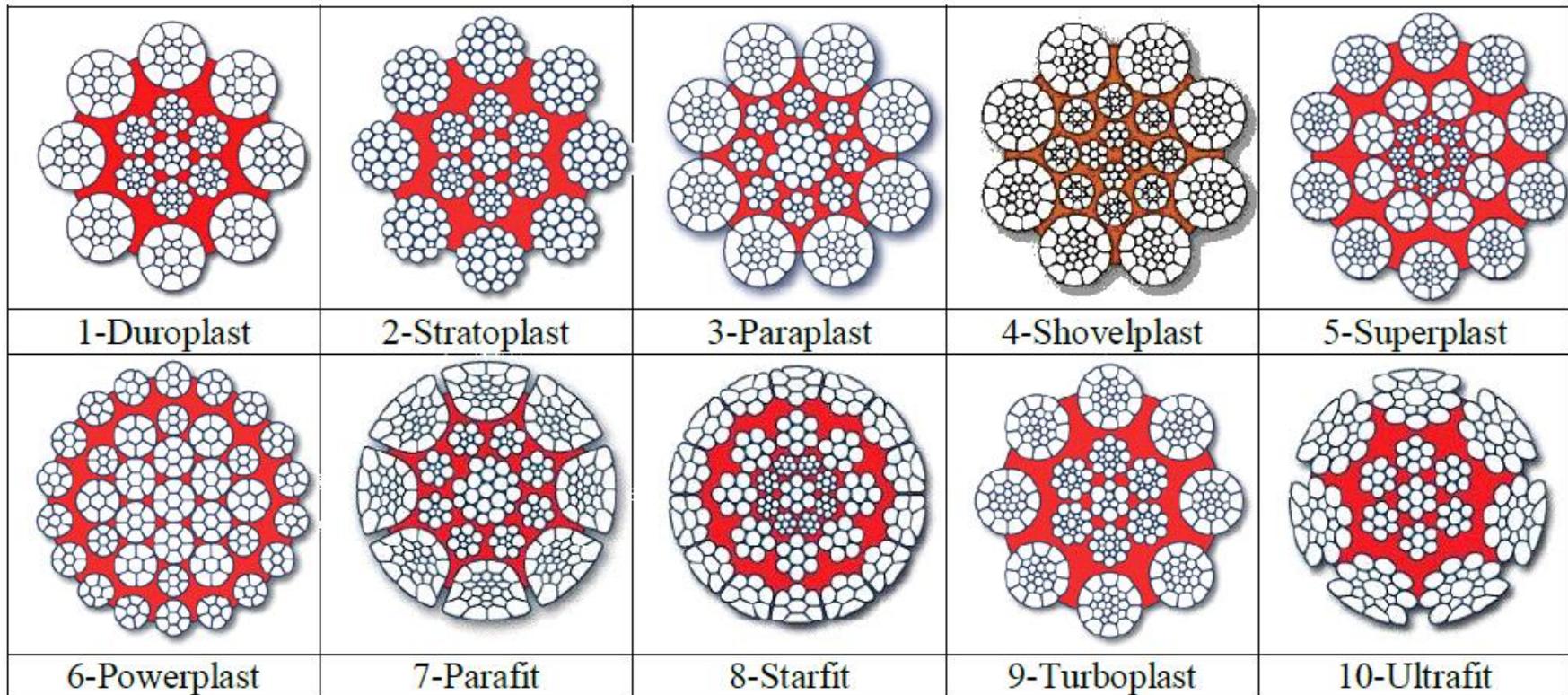


combinado



## CABOS de AÇO

### Classificação

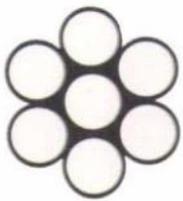
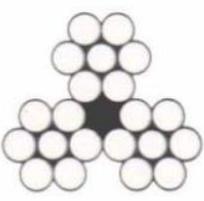
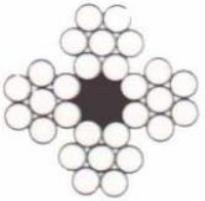
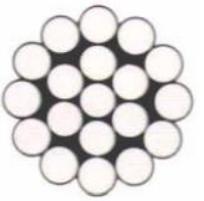
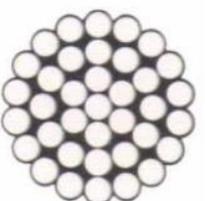
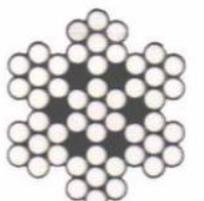
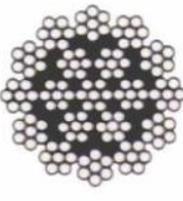
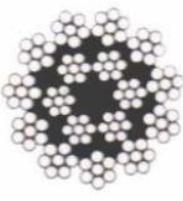
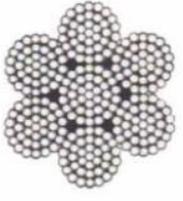
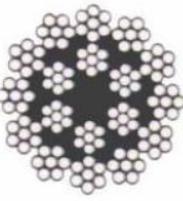
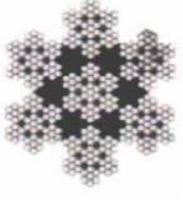
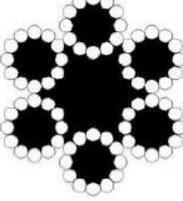
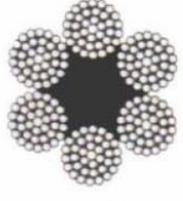


Diversas configurações de Cabos de aço com preenchimento.



## CABOS de AÇO

Tipos mais comuns

|  |   |  |   |   |   |
|--|---|--|---|---|---|
| <br>1 x 7   | <br>3 x 7    | <br>4 x 7    | <br>1 x 19   | <br>1 x 37   | <br>7 x 7      |
| <br>19 x 7 | <br>17 x 7  | <br>7 x 19  | <br>7 x 37  | <br>18 x 7  | <br>7 x 7 x 7 |
| <br>6 x 7 | <br>6 x 12 | <br>6 x 19 | <br>6 x 24 | <br>6 x 30 | <br>6 x 37   |



## CABOS de AÇO

Tipos mais comuns

|             |             |                 |                 |                 |                 |
|-------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|             |             |                 |                 |                 |                 |
| 6 x 19 - S  | 6 x 19 - W  | 6 x 21 - F      | 6 x 25 - F      | 6 x 29 - F      | 6 x 37 - SeS    |
|             |             |                 |                 |                 |                 |
| 6 x 26 - WS | 6 x 31 - WS | 6 x 36 - WS     | 8 x 25 - F      | 8 x 19 - S      | 8 x 19 - W      |
|             |             |                 |                 |                 |                 |
| 6 x 19 AACI | 6 x 37 AACI | 6 x 25 - F AACI | 6 x 29 - F AACI | 6 x 41 - F AACI | 6 x 19 - S AACI |



## CABOS de AÇO

Tipos mais comuns

|                    |                    |                      |                      |                      |                |
|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|
|                    |                    |                      |                      |                      |                |
| 6 x 37 - SeS       | 6 x 19 - W A A C I | 6 x 26 - W S A A C I | 6 x 31 - W S A A C I | 6 x 36 - W S A A C I | 7 x 7 x 19 - S |
|                    |                    |                      |                      |                      |                |
| 8 x 19 - W A A C I | 8 x 25 - F A A C I | 8 x 19 - S A A C I   | 6 x 3 x 19           | 6 x 3 x 7            | 6 x 3 x 19 - S |



## CABOS de AÇO

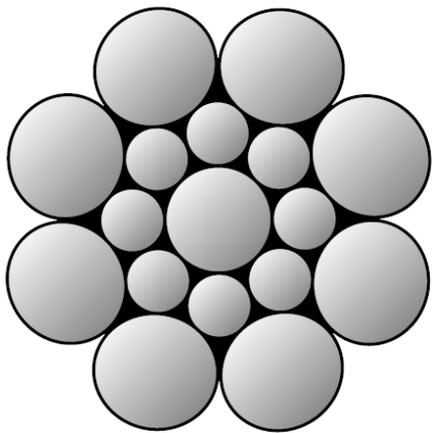
### Classificação



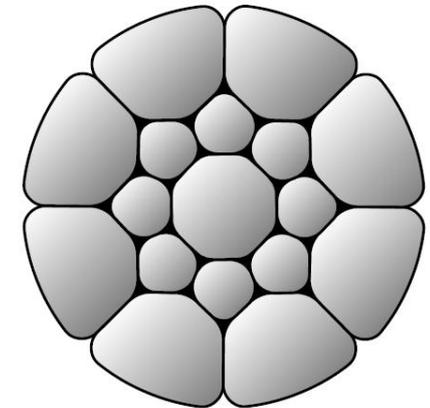


## CABOS de AÇO

Classificação



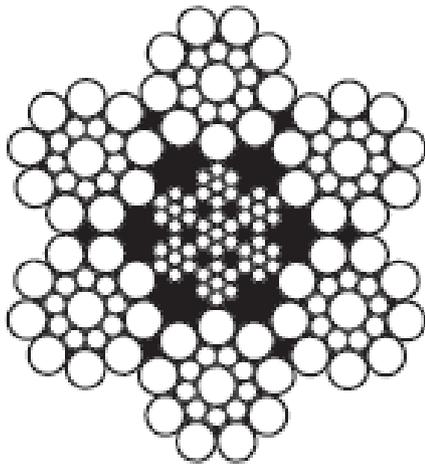
*conventional strand*



*compacted strand*

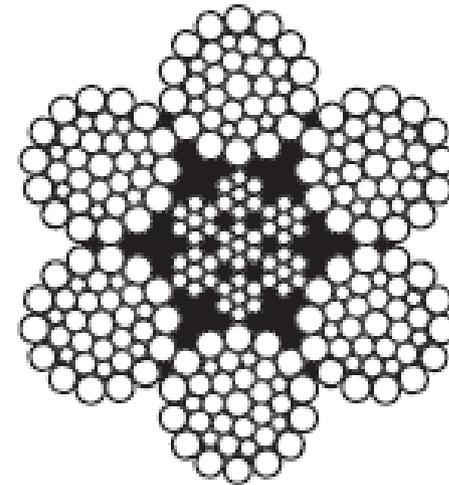


**CABOS de AÇO**



**IF YOU NEED  
ABRASION  
RESISTANCE**

Resistência à abrasão  
aumenta com menos fios  
externos, e fios maiores

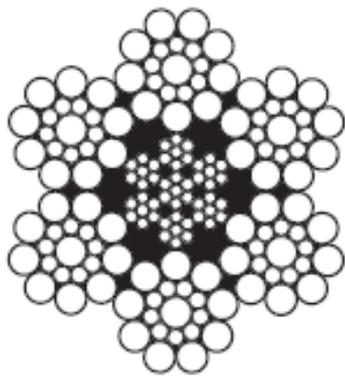


**IF YOU NEED  
FATIGUE  
RESISTANCE**

Resistência à fadiga aumenta  
com mais e menores fios  
externos



## CABOS de AÇO



IF YOU NEED  
ABRASION  
RESISTANCE

### RESISTÊNCIA DOS ARAMES DOS CABOS DE AÇO

| Construção                  | Flexibilidade                   | Resistência à abrasão           |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 6 x 7                       | <i>mín.</i><br>↓<br><i>máx.</i> | <i>máx.</i><br>↑<br><i>mín.</i> |
| 6 x 19                      |                                 |                                 |
| 6 x 19 - Seale              |                                 |                                 |
| 6 x 25 - Filler             |                                 |                                 |
| 6 x 36 - Warrington - Seale |                                 |                                 |
| 6 x 37                      |                                 |                                 |
| 6 x 41 - Warrington - Seale |                                 |                                 |



## CABOS de AÇO

### Nomenclatura

$D_c$  – diâmetro do cabo [mm]

$D_a$  – diâmetro do arame [mm]

$D_s$  – diâmetro da polia [mm]

$A_m$  – área metálica [mm<sup>2</sup>]

$F$  e  $K$  – fatores de multiplicação em função do cabo

$E_c$  – módulo de elasticidade do cabo [GPa] ( $E_c < E_{aço}$ )

$w$  – peso por unidade de comprimento [kg/m]

$F_t$  – carga atuante no cabo – tração [kgf] ou [N]

$F_u$  – carga efetiva mínima de ruptura [kgf] ou [N]

$$D_a \cong K \cdot D_c$$

$$A_m = F \cdot D_c^2$$

$$w = F \cdot D_c^2 \cdot 10^{-2}$$



## CABOS de AÇO

### Nomenclatura

$D_c$  – diâmetro do cabo [mm]

$D_a$  – diâmetro do arame [mm]

$A_m$  – área metálica [mm<sup>2</sup>]

$F$  e  $K$  – fatores de multiplicação em função do cabo

$w$  – peso por unidade de comprimento [kg/m]

$$D_a \cong K \cdot D_c$$

$$A_m \cong F \cdot D_c^2$$

$$w \cong F \cdot D_c^2 \cdot 10^{-2}$$

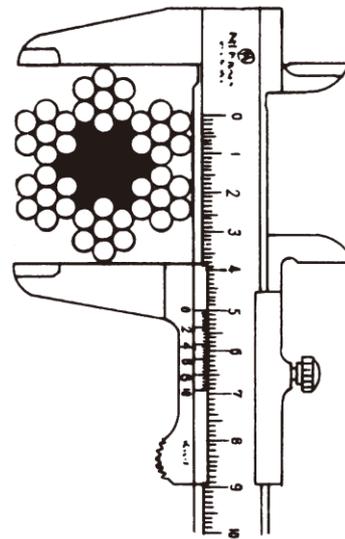
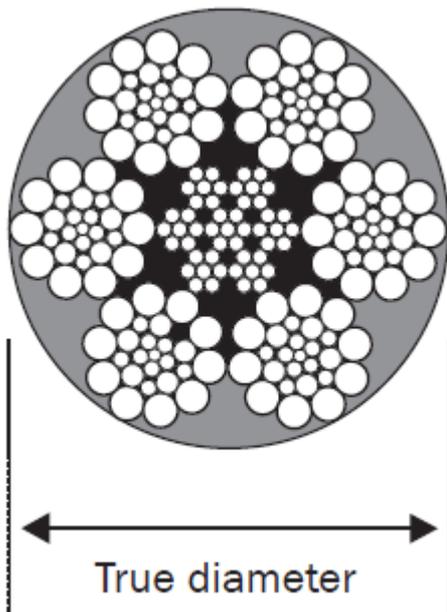
| <i>Cabo</i> | <i>F</i> | <i>K</i> | <i>E<sub>c</sub> [GPa]</i> |           |
|-------------|----------|----------|----------------------------|-----------|
|             |          |          | <i>AF</i>                  | <i>AA</i> |
| 6 x 7       | 0.38     | 0,111    | 90-100                     | 105-115   |
| 6 x 19      | 0.395    | 0,067    | 85-95                      | 100-110   |
| 6 x 37      | 0.4      | 0,048    | 75-85                      | 95-105    |



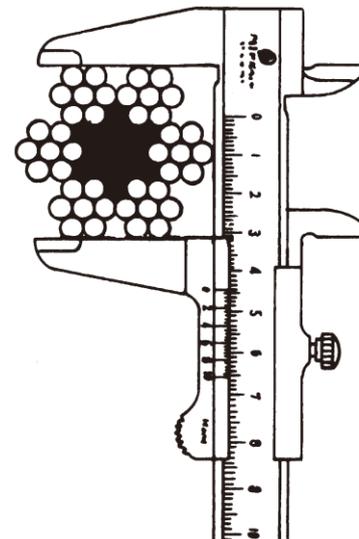
## CABOS de AÇO

Medidas

### DIÂMETRO NOMINAL/REAL



Right



Wrong





## CABOS de AÇO

### Especificação

***Dcabo x no. de Pernas x no. de Arames por perna + tipo de cabo ou alma***

**Exemplo:** Cabo de aço 22 x 6 x 7 – AF

- Diâmetro: 22 mm;
- número de pernas: 6;
- fios/perna: 7;
- com alma de fibra.

| <i>ABREVIATURA</i> | <i>DESCRIÇÃO</i>              |
|--------------------|-------------------------------|
| S                  | Seale                         |
| W                  | Warrington                    |
| F                  | Filler                        |
| WS                 | Warrington-Seale              |
| AF                 | Alma de fibra                 |
| AA                 | Alma de Aço                   |
| AACI               | Alma de aço cabo independente |



## CABOS de AÇO

### Categorias

| <i>TIPO</i>                   | <i>SIGLA</i> | <i>RESISTÊNCIA<br/>À<br/>TRAÇÃO [MPa]</i> |
|-------------------------------|--------------|---|
| Ferro (IRON)                  |              | 600                                       |
| Aço de tração (TRACTION IRON) |              | 1200-1400                                 |
| <i>Mild Plow Steel</i>        | MPS          | 1400-1600                                 |
| <i>Plow Steel</i>             | PS           | 1600-1800                                 |
| <i>Improved Plow Steel</i>    | IPS          | 1800-2000                                 |
| <i>Extra Improved Steel</i>   | EIPS         | 2000-2300                                 |



## CABOS de AÇO

### AS PROPRIEDADES BÁSICAS DE CABO DE AÇO

A escolha de cabos de aço é feita em função das propriedades mais comuns:

➤ **RESISTÊNCIA A TRAÇÃO**

➤ **RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO:** Esmagamento é o efeito da pressão externa sobre o cabo, que danifica ao distorcer a forma da seção transversal, suas vertentes ou núcleo - ou todos os três.

Quando um cabo é danificado por esmagamento, os fios, e os fios e o núcleo são impedidos de mover e se ajustarem. Geralmente é um parâmetro usado para comparação entre cabos.



## CABOS de AÇO

### AS PROPRIEDADES BÁSICAS DE CABO DE AÇO

- **RESISTÊNCIA À PERDA DE METAL E DEFORMAÇÃO:** A perda de metal, refere-se a o desgaste real de metal dos fios externos de um cabo e metal deformação é a mudança do forma de fios externos de um cabo.
- **RESISTÊNCIA À ROTAÇÃO:** Quando uma carga é colocada em um cabo, o torque é criados dentro da corda como fios e estes tentam se endireitar. Isto é normal e a corda é projetada para operar com este torque induzido por carga. No entanto, este torque pode causar cargas torcionais. O torque induzido por estas carga pode ser reduzido por rotação dos fios deforma a serem especialmente projetada.



## CABOS de AÇO

### AS PROPRIEDADES BÁSICAS DE CABO DE AÇO

- **RESISTÊNCIA À ROTAÇÃO:** Quando uma carga é colocada em um cabo, o torque é criado dentro da corda como fios e estes tentam se endireitar. Isto é normal e a corda é projetada para operar com este torque induzido por carga. No entanto, este torque pode causar cargas torcionais. O torque induzido por estas cargas pode ser reduzido por rotação dos fios deforma a serem especialmente projetada.
- Dependendo da sua aplicação, outras propriedades do cabo de aço, tais como como **estabilidade**, **capacidade de dobramento**, **resistência a corrosão** ou **reserva de resistência** podem ser consideradas.



## **CABOS de AÇO**

Dimensionamento

### **Condições de carregamento**

**tração simples**

**tração dinâmica**

**flexão e dobramento**

**fadiga**

**alongamento**



## CABOS de AÇO

### Dimensionamento

#### tração simples

$$F_{te} = P + P_{cabo}$$

$$F_{te} = P + w \cdot L$$

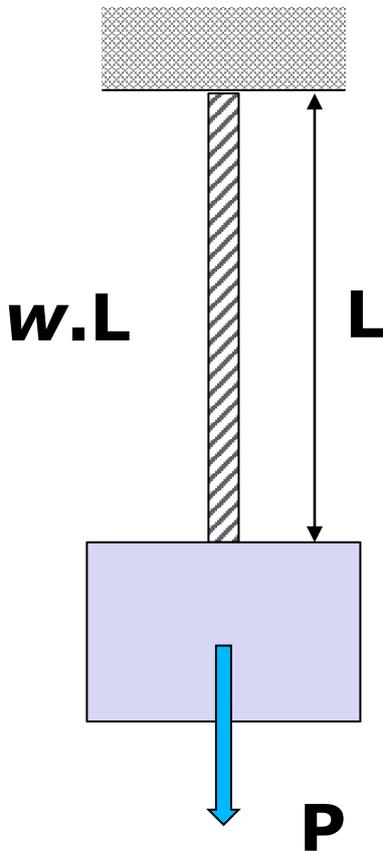
$w$  – peso por unidade de comprimento [kg/m]

$$w \cong F \cdot D_c^2 \cdot 10^{-2}$$

$$\frac{F_u}{F_{te}} = C \cdot S$$

$F_t$  – carga atuante no cabo

$F_u$  – carga efetiva mínima de ruptura





## CABOS de AÇO

Dimensionamento

tração dinâmica

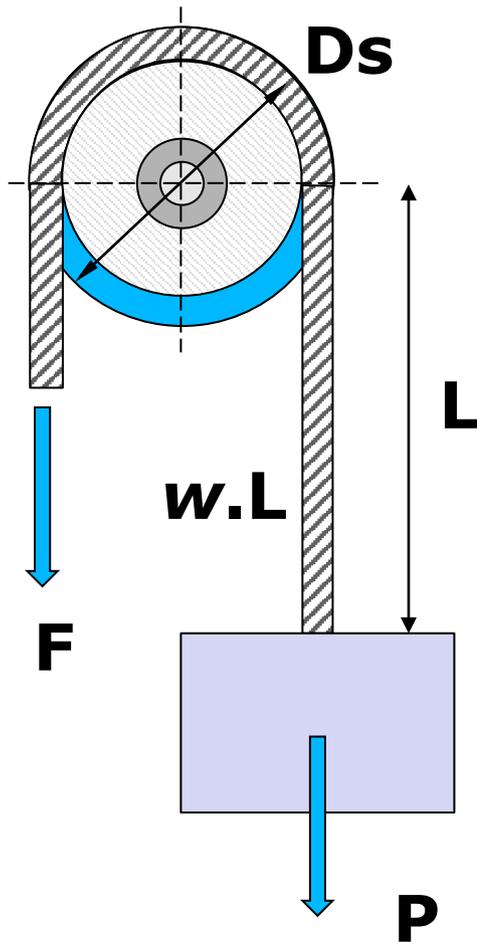
$$\sum F = m \cdot a$$

$$\sum F = F_{te} - wl - P$$

$$\sum F = \left( \frac{wl + P}{g} \right) \cdot a$$

$$F_{te} = \left( \frac{wl + P}{g} \right) \cdot a + wl + P$$

$$\frac{F_u}{F_{td}} = C.S$$



w – peso por unidade de comprimento [kg/m]



## CABOS de AÇO

### Dimensionamento

#### flexão e dobramento

$$\epsilon_{max} = \frac{D_a}{(D_s + D_c)}$$

$$\sigma_{max} = E \cdot \epsilon_{max}$$

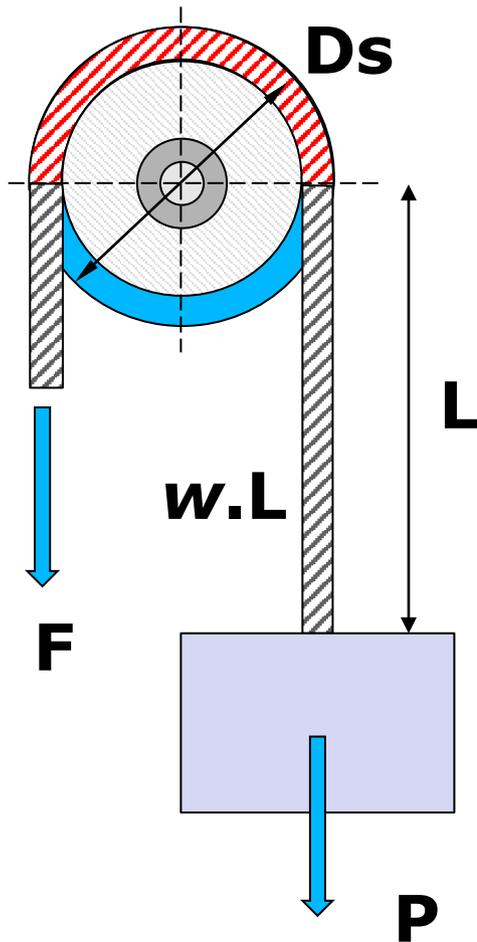
$$\sigma_{max} = \frac{E_c \cdot D_a}{(D_s + D_c)} \rightarrow 0$$

$$\sigma_{max} = \frac{E_c \cdot D_a}{D_s}$$

$D_c$  – diâmetro do cabo [mm]

$D_a$  – diâmetro do arame [mm]

$D_s$  – diâmetro da polia [mm]

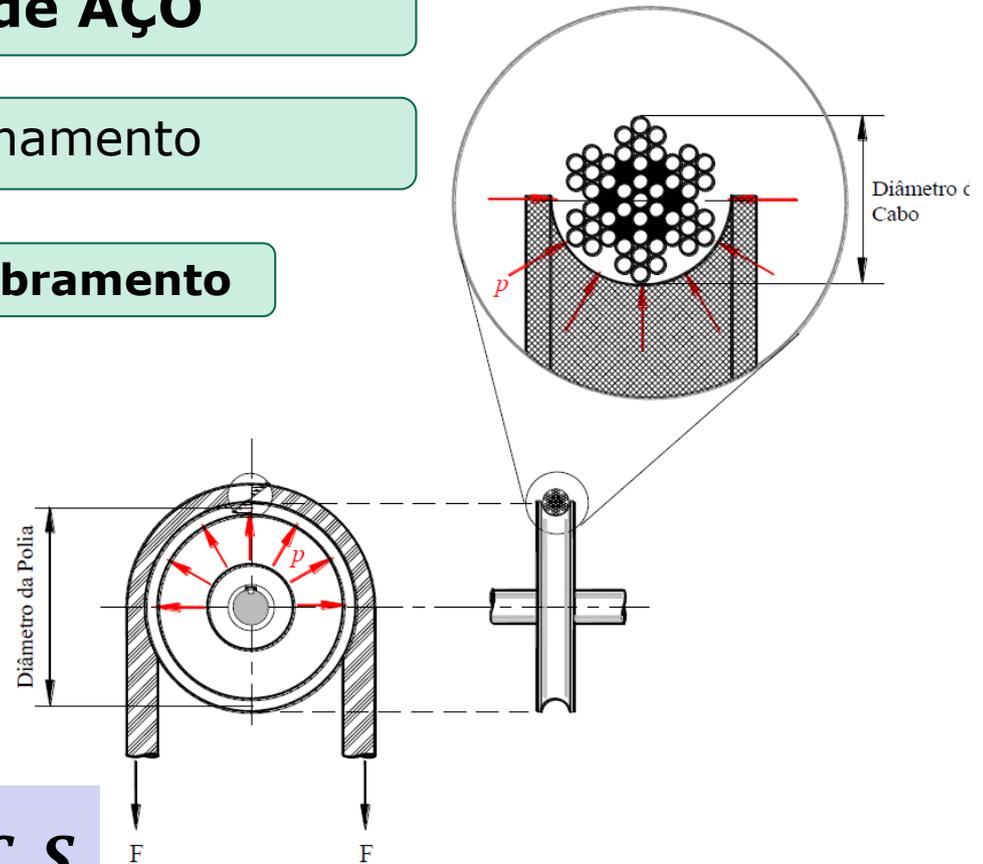
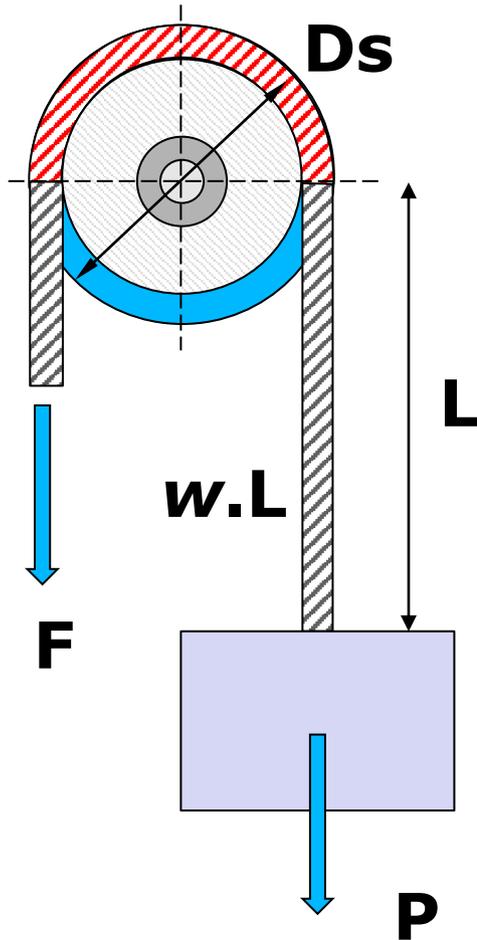




## CABOS de AÇO

Dimensionamento

flexão e dobramento



$$\frac{F_u - F_b}{F_{td}} = C.S$$

$$F_u = C.S.F_{td} + F_b$$

$F_{td}$  – carga dinâmica atuante no cabo

$F_u$  – carga efetiva mínima de ruptura



## CABOS de AÇO

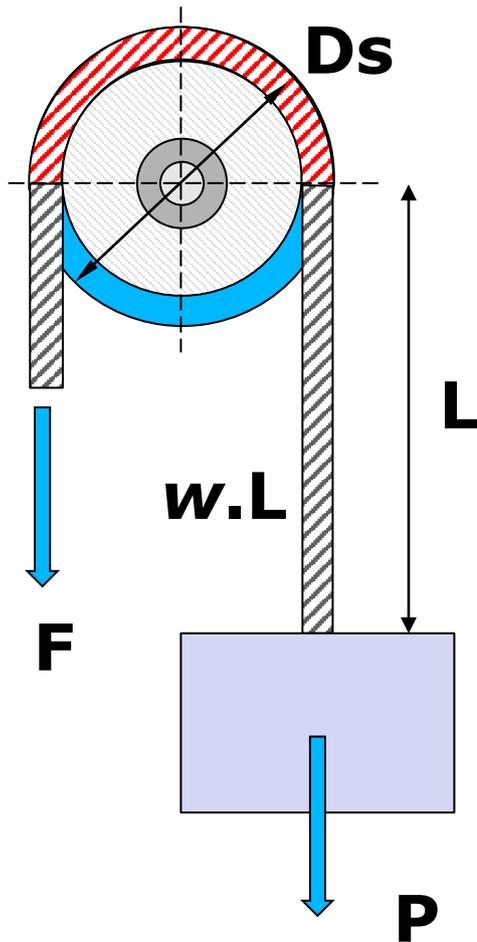
### Dimensionamento

#### fadiga

$$p = \frac{2F_t}{D_c \cdot D_s} \Rightarrow \begin{cases} p < \overbrace{0,0015}^K \cdot Su \Rightarrow N > 10^6 \text{ ciclos} \Rightarrow \text{vida infinita} \\ p > 0,0015 \cdot Su \Rightarrow N < 10^6 \text{ ciclos} \Rightarrow \text{vida finita} \end{cases}$$

#### alongamento

$$\Delta L = \frac{F \cdot l}{E_c \cdot Am}$$





## **CABOS de AÇO**

Dimensionamento

Fator de projeto

O fator de projeto, ou de segurança no projeto, é definido como a razão entre a mínima força de ruptura de um cabo de aço para a carga total espera-se que ele suporte.

O uso do fator de projeto fornece ao cabo uma garantia razoável de capacidade de trabalho ao longo da vida útil.

Considerações ao estabelecer o fator de projeto incluem o tipo de serviço, projeto do equipamentos, e consequências de falha. Na maioria das aplicações, a seleção de um cabo é feita com base em um fator de projeto adequado, que depende do tipo de equipamento e da existência de normas



## CABOS de AÇO

Dimensionamento

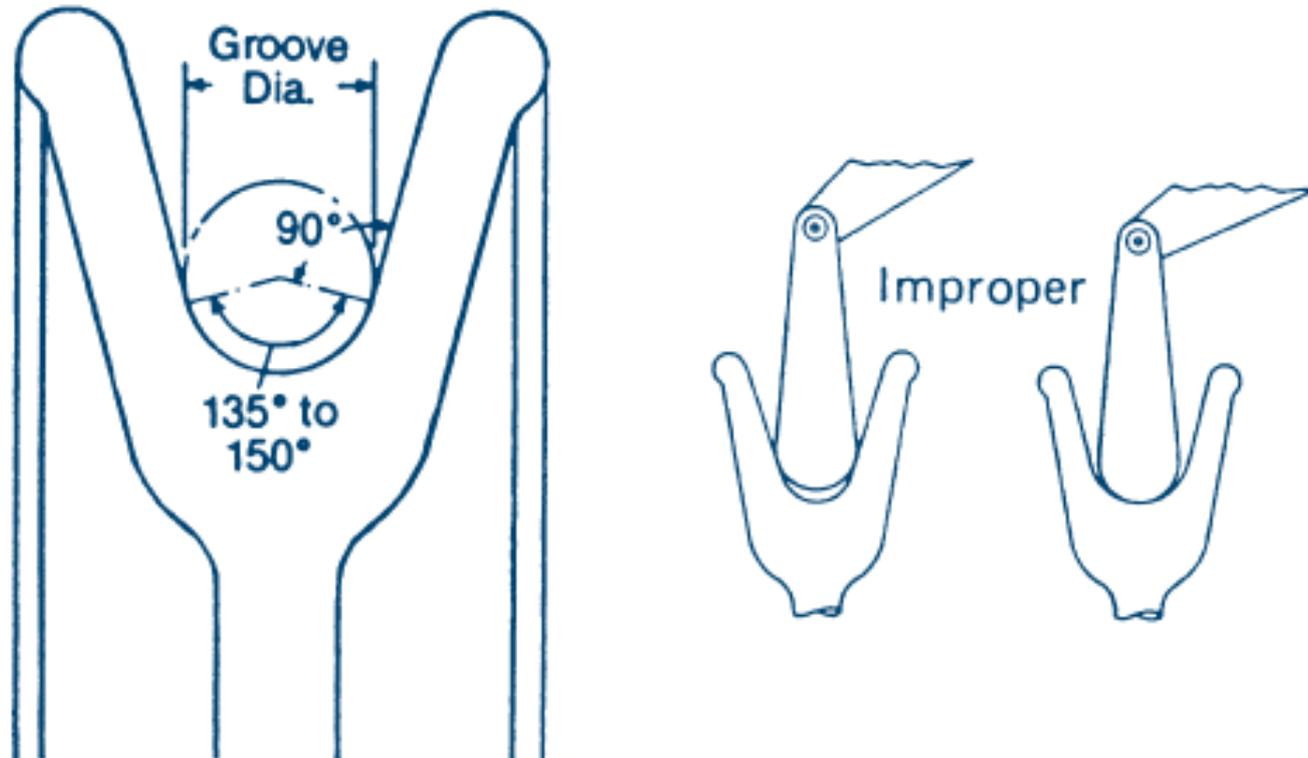
Fator de projeto

| TIPO DE EQUIPAMENTO                   | Coeficiente de Segurança – CS |  |          |       |       |       |             |         |      |      |
|---------------------------------------|-------------------------------|--|----------|-------|-------|-------|-------------|---------|------|------|
|                                       | Morsing                       |  | Catálogo |       | CIMAF |       | Recomendado |         |      |      |
| Cabos e cordoalhas estáticas (tração) | 3 a 4                         |  | 3,2      |       | 3 a 4 |       | 3,5         |         |      |      |
| Cabos e tração no sentido horizontal  | 4,5 a 5,5                     |  | 4,5      |       | 4 a 5 |       | 5           |         |      |      |
| Tirantes e estais                     | 4,5 a 5,5                     |  | -        |       | 3,5   |       | 4           |         |      |      |
| Guinchos, escavadeiras, pés           | 6 a 8                         |  | 5        |       | 5     |       | 5           |         |      |      |
| Pontes rolantes                       | -                             |  | 7        |       | 6 a 8 |       | 7           |         |      |      |
| Talhas elétricas                      | -                             |  | 7        |       | 7     |       | 7           |         |      |      |
| Guindastes e Gruas                    | 6 a 8                         |  | 6        |       | 6 a 8 |       | 7           |         |      |      |
| Laços (slings)                        | 5 a 8                         |  | 5        |       | 5 a 6 |       | 6           |         |      |      |
| Elevadores manuais                    | -                             |  | 5        |       | 6     |       | 5,5         |         |      |      |
| Elevadores mecânicos                  | v[m/s]                        |  | Carga    | Pass. | Carga | Pass. | Carga       | Passag. |      |      |
|                                       | 0,25                          |  | 7 a 9    | 12    | 6,7   | 7,6   | 8 a 10      | 10 a 12 | 6,7  | 7,6  |
|                                       | 1,5                           |  |          |       | 8,2   | 9,2   |             |         | 8,2  | 9,2  |
|                                       | 4,00                          |  |          |       | 10    | 11,3  |             |         | 10   | 11,3 |
|                                       | 6,00                          |  |          |       | 10,5  | 11,8  |             |         | 10,5 | 11,8 |
|                                       | 7,50                          |  |          |       | 10,6  | 11,9  |             |         | 10,6 | 11,9 |



## CABOS de AÇO

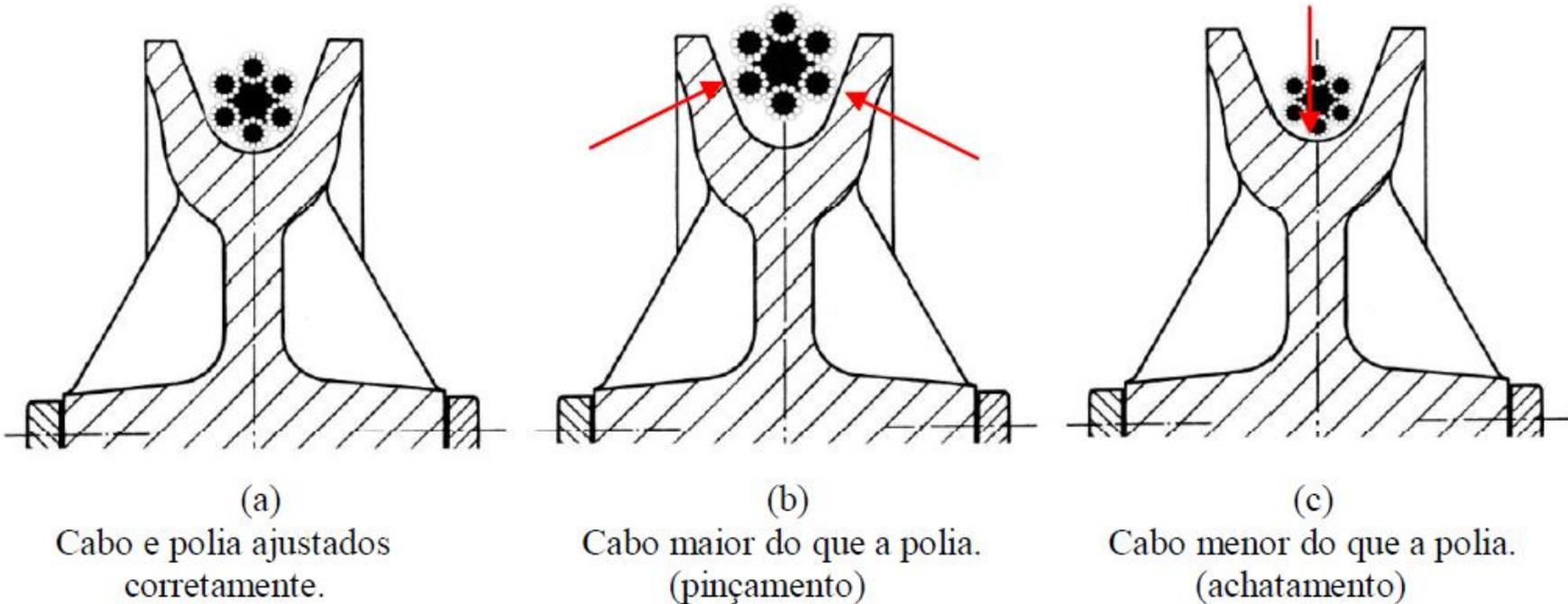
### Dimensionamento





## CABOS de AÇO

### Dimensionamento





**CABOS de AÇO**

Critério de falhas

Periodicidade de inspeção

| <i>TIPO DE INSPEÇÃO</i> | <i>RESPONSÁVEL</i>                                 | <i>OBSERVAR PRINCIPALMENTE</i>             | <i>REGISTRO ESCRITO</i> |
|-------------------------|--|--|-------------------------|
| Freqüente               | Operador   | Anomalias Localizadas                      | Não                     |
| Periódica               | Inspetor qualificado                               | Anomalias Localizadas e deterioração geral | Sim                     |
| Especializada           | Empresa especializada com equipamentos específicos | Ensaios não destrutivos                    | Sim                     |



## CABOS de AÇO

### Critério de falhas

#### **Por anomalias localizadas:**

- esmagamento,
- diminuição grande do diâmetro (máximo admissível: 6 a 8
- quebras de arames concentrada em uma pequena região ou perna,
- deformações,
- colapso da alma,



**CABOS de AÇO**

Critério de falhas

**Por quantidade de arames quebrados:**

| <i>TIPOS DE CABOS</i> | <i>MÁXIMO ADMISSÍVEL</i>  |
|-----------------------|---|
| 6 pernas              | 6 arames quebrados numa longitude de 6 diâmetros.   |
| antigiratórios        | 2 arames quebrados em uma longitude de 6 diâmetros ou 4 arames quebrados em uma longitude de 30 diâmetros |
| estáticos             | 3 arames quebrados em uma longitude de 6 diâmetros ou 2 arames quebrados nas proximidades do terminal     |



## CABOS de AÇO

### Critério de falhas



Falha do cabo por salto da polia



Falha por fadiga após flexão em torno de polia pequena



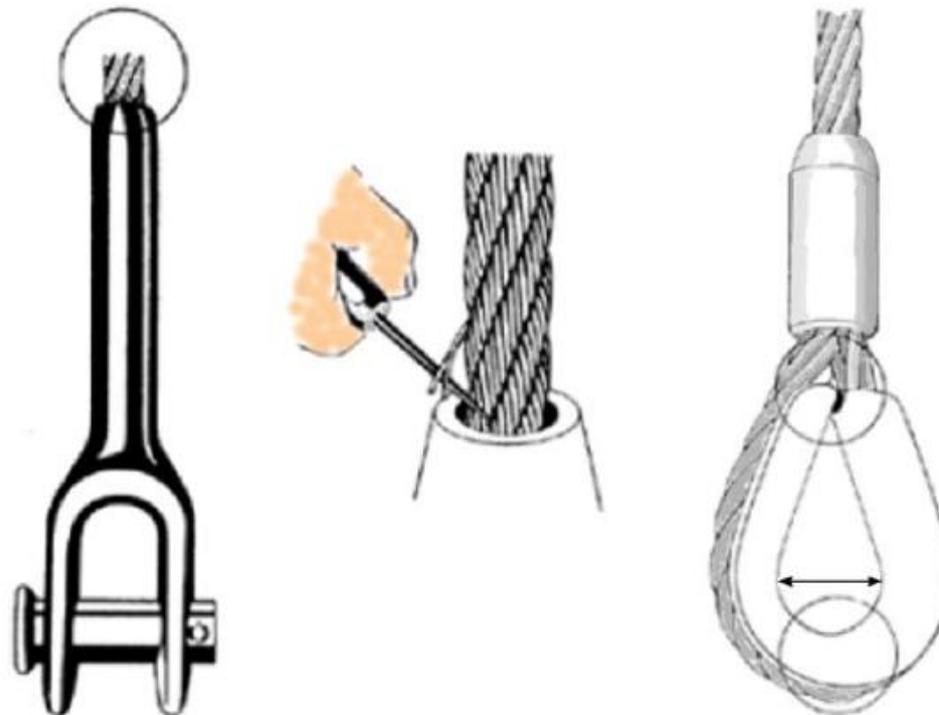
Ruptura por excesso de tensão



## CABOS de AÇO

### Critério de falhas

Danos na extremidade ou conexão de cabos de aço



Caso haja mais de um arame rompido em uma conexão de extremidade do cabo, este deve ser retirado de serviço



## CABOS de AÇO

### Critério de falhas

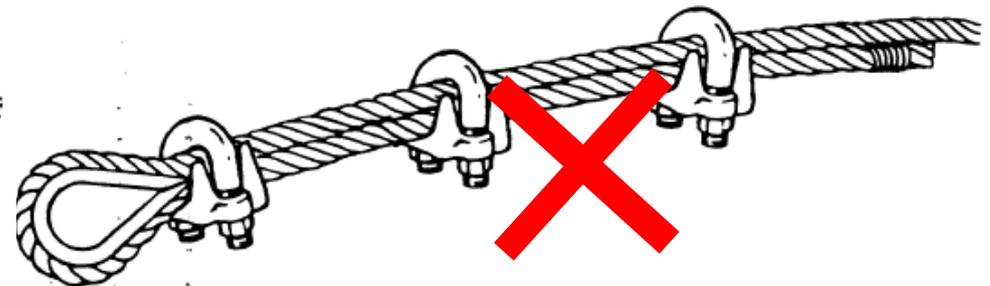
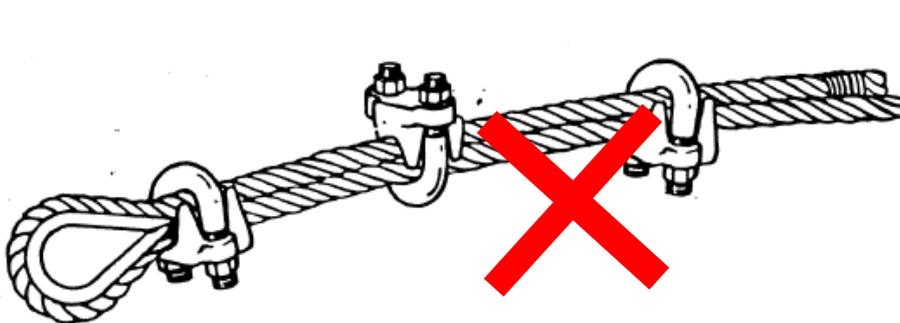
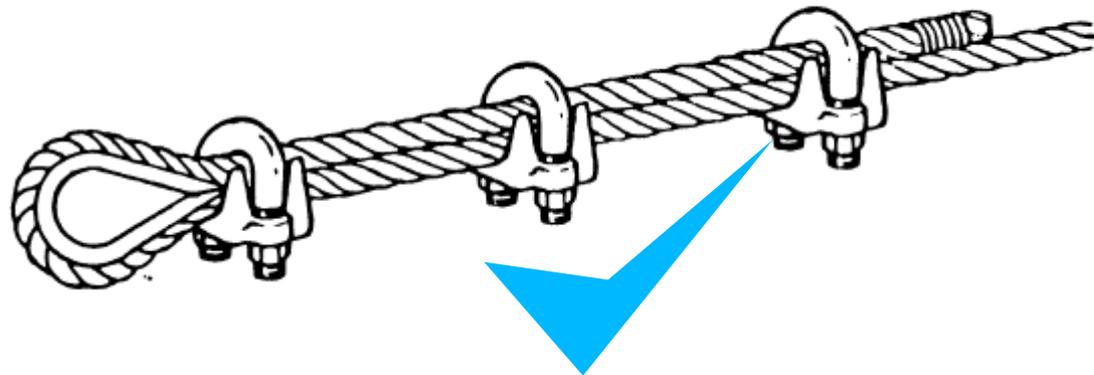
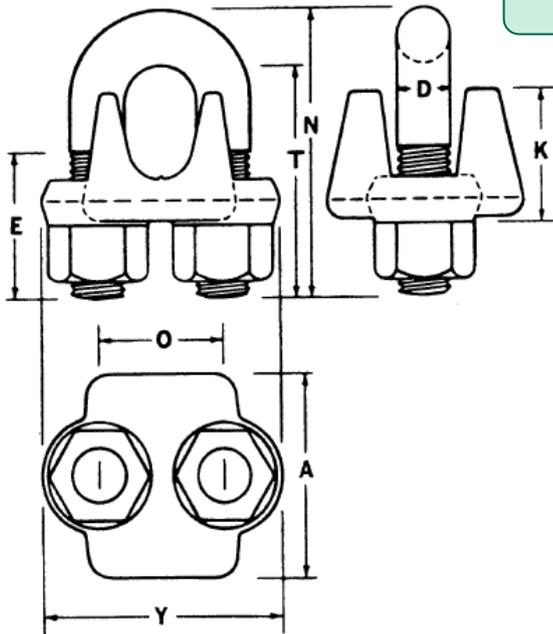
#### Outros critérios de falhas:

- se  $1/3$  do diâmetro original de um arame externo individual estiver desgastado.
- se o diâmetro original do cabo não-rotacional diminuir 3% ou mais. Diminuição do diâmetro normalmente indica falha no núcleo.
- se houver qualquer dano que distorça a estrutura do cabo tais como: ondulações, ruptura de um fio ou extrusão do arame, enroscamento ou estreitamento nas voltas (*loops*), esmagamento, “engaiolamento”, flexão excessiva e etc.
- se houver severa corrosão ou *pitting*.



## CABOS de AÇO

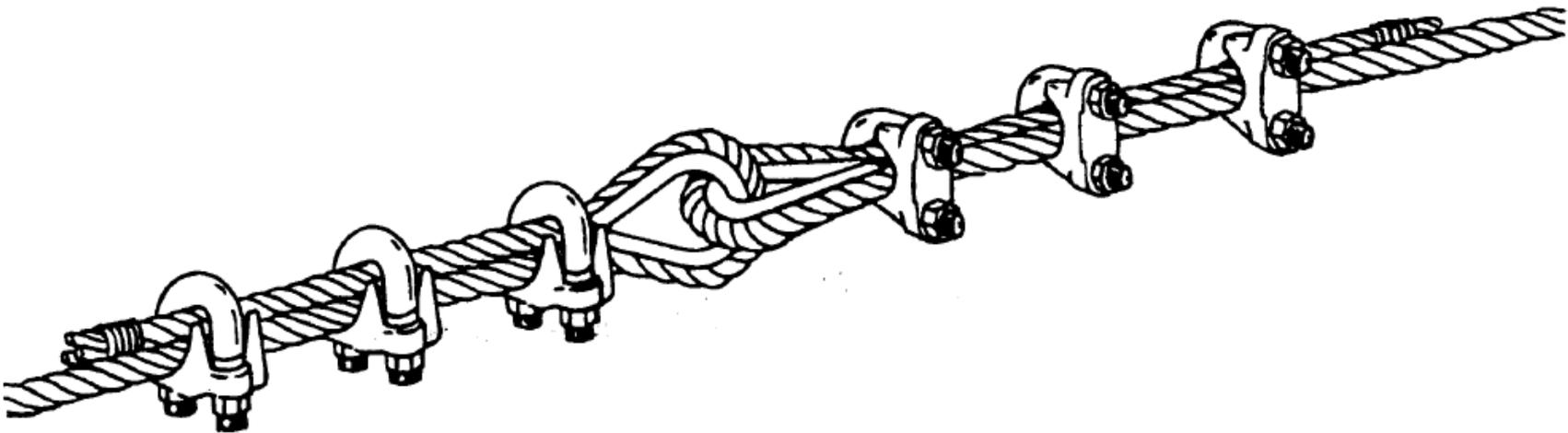
Olha de união por U-bolt clip





## CABOS de AÇO

Olha de união por U-bolt clip





## **CABOS de AÇO**

### Lubrificação

A lubrificação dos cabos é muito importante para sua proteção contra a corrosão e também para diminuir o desgaste por atrito pelo movimento relativo de suas pernas, dos arames e do cabo de aço contra as partes dos equipamentos como por exemplo polias e tambores.



## CABOS de AÇO

### Lubrificação

Caso não seja realizado um plano de lubrificação adequado, o cabo de aço estará sujeito à:

- Ocorrência de oxidação causa redução de área e, conseqüentemente, perda de capacidade de carga;
- Os arames começam a ficar quebradiços devido ao excesso de corrosão;
- Como os arames do cabo de aço movimentam-se relativamente uns contra os outros, durante o uso, ficam sujeitos a um desgaste por atrito.
- A porosidade também provoca desgaste interno dos arames, resultando em perda de capacidade de carga

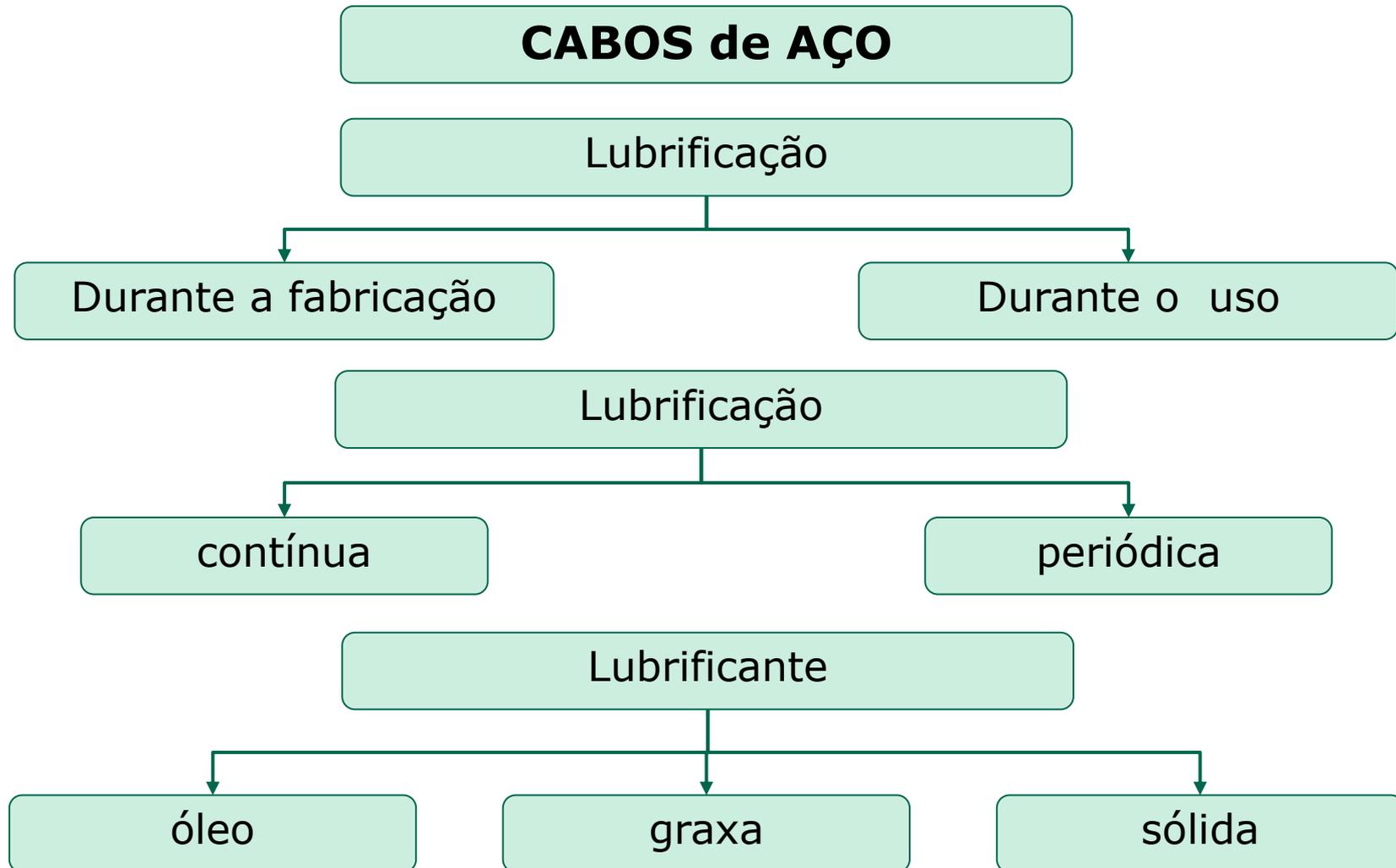


## CABOS de AÇO

### Lubrificação

Requisitos do lubrificante :

- Ser quimicamente neutro;
- Possuir boa aderência;
- Possuir uma viscosidade capaz de penetrar entre as pernas e outros arames;
- Ser estável sob condições operacionais;
- Proteger contra a corrosão;
- Ser compatível com o lubrificante original.





**FIM DA AULA**