



ÓRGÃOS DE MÁQUINAS II

Licenciatura em Engenharia Mecânica



Elaborado por Paulo Flores - 2023

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade do Minho

Campus de Azurém

4804-533 Guimarães

pflores@dem.uminho.pt

T.05 – CABOS

1. Introdução
2. Constituição dos Cabos
3. Construção de Cabos
4. Tipos de Alma
5. Tipos de Cordões
6. Tipos de Cabos e Aplicações
7. Projeto e Seleção de Cabos

1. Introdução

Génese do Cabos

A origem dos cabos parece remontar à [Antiguidade egípcia](#), quando [fibras naturais](#), entrelaçadas umas nas outras, formavam [cordas](#), as quais eram puxadas por milhares de escravos na movimentação das enormes pedras usadas na construção das famosas [pirâmides do Egito](#).



Movimentação de pedra



Ponte de cordas



Ponte de cordas

As cordas foram também utilizadas na [construção de pontes](#) para proporcionar o atravessamento de rios, tal como a réplica de uma ponte inca suspensa sobre o rio Apurímac, localizado em Cusco, no Peru.

Atualmente, existe uma ponte de cordas situada em Ballintoy, na Irlanda do Norte, a qual é usada para unir uma ilha piscatória de salmão.

1. Introdução

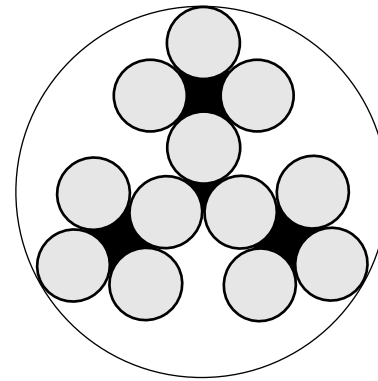
Cabos de Aço

Os cabos de aço foram inventados pelo alemão **Wilhem Albert** (1787-1846), **engenheiro de minas**, que desenvolveu os primeiros cabos para responder à necessidade de alcançar **maiores profundidades** nas minas de carvão, uma vez que o uso de correntes se tornava inviável para aquele fim.

Em contraponto com as correntes, os cabos eram **leves**, apresentavam boa **capacidade de carga**, eram **fiáveis** e permitiam o acesso à profundidade das minas.



Wilhem Albert



Primeiro cabo de aço

O primeiro cabo de aço, produzido por Wilhem Albert no ano de 1834, tinha 18 mm de diâmetro, consistia em **três cordões**, com **quatro arames** de 3,5 mm cada um, os quais foram **enrolados manualmente**.

A introdução de **fibras como elemento central** dos cabos e a melhoria ao nível dos materiais impulsionaram o rápido desenvolvimento e popularidade dos cabos de aço, em particular na Europa e nos EUA.

1. Introdução

Aplicações

Os **cabos de transmissão** fazem parte das **transmissões mecânicas flexíveis** que visam transferir movimento e potência entre os veios motor e movido, quando estes estão **bastante afastados** um do outro.

Este tipo de transmissão mecânica tem **grande capacidade de carga** e encontra aplicação em **elevadores**, **gruas**, teleféricos, pontes rolantes, monta-cargas, sistemas de elevação e de transporte, entre outras.

As figuras abaixo ilustram alguns destes exemplos de aplicação de cabos de aço.



Elevador



Grua



Teleférico

Os sistemas de transmissão por cabos utilizam um **conjunto de cabos paralelos** entre si e com arranjos semelhantes aos das correias trapezoidais múltiplas, sendo que as correspondentes polias ou **roldanas** têm perfis arredondados e, por isso, compatíveis com a configuração física dos cabos.

2. Constituição dos Cabos

Materiais

Os cabos podem ser de **aço** ou de **cânhamo**. Cânhamo é uma planta herbácea rica em óleo e fibras usadas em aplicações têxteis.

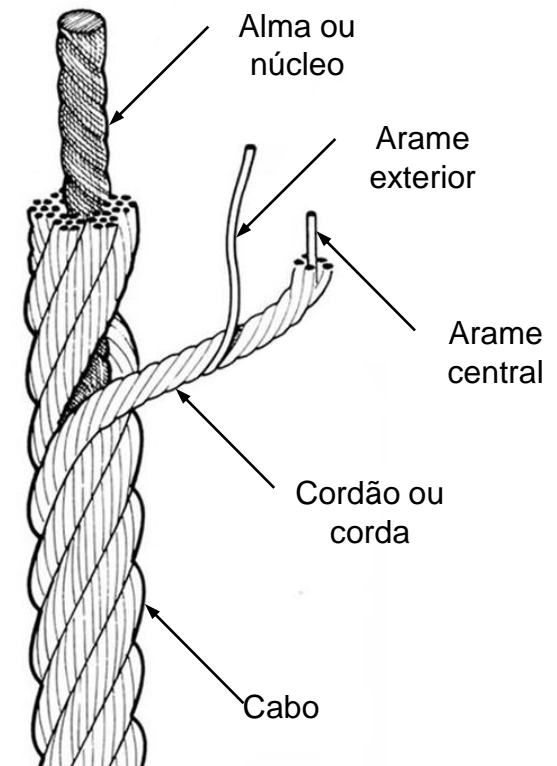
Os **cabos de aço** são constituídos por dois ou mais **arames** enrolados lado a lado, **torcidos** ou **entrançados**. Os arames ou fios dos cabos de aço são obtidos por trefilagem, uma vez que este processo confere aos cabos uma elevada resistência à rotura.

A figura do lado mostra a **constituição genérica de um cabo** de aço de transmissão de movimento,

O cabo inclui a **alma ou núcleo**, à volta da qual se desenvolvem os **cordões ou cordas**.

Na literatura anglossaxónica, o arame central é, por vezes, denominado arame rei.

Os **cordões** contêm um **arame ou fio central**, em torno do qual se aplica um conjunto de **arames exteriores**, vulgo camadas, de modo a formar os ditos cordões.



3. Construção de Cabos

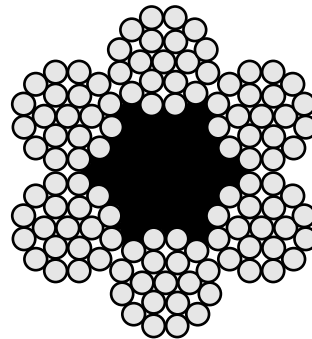
Construção

Construção de um cabo refere-se à [indicação da constituição dos cabos](#), nomeadamente a quantidade e a caracterização de cada um dos seus componentes.

Os cabos de aço são uma construção [uniforme e helicoidal de arames e cordões](#). Os cabos de aço são constituídos por uma alma e por um conjunto de cordões enrolados à sua volta, sendo que os cordões incluem um arame central em torno do qual são enrolados diversos arames exteriores.

Os cabos de aço podem ser especificados de acordo com o [tipo de alma](#) e com [tipo de arranjo](#) dos cordões.

A figura abaixo mostra a secção de um cabo de aço, cuja designação é 6×19 , em que o primeiro número se refere à [quantidade de cordões](#) e o segundo diz respeito à [quantidade de arames](#) que existe em cada cordão, incluindo o arame central.

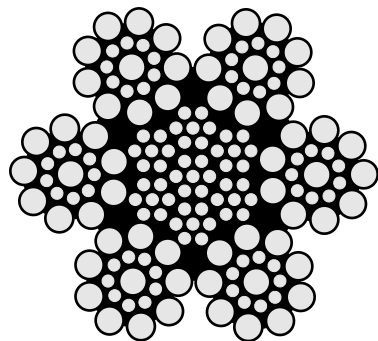


Cabo de aço 6×19

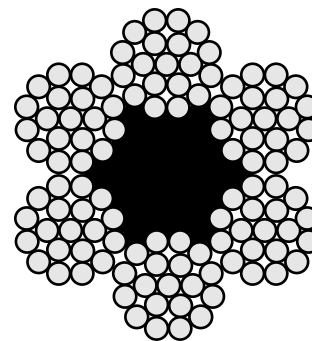
4. Tipos de Alma

Alma dos Cabos

Os cabos de são formados por uma **alma**, à volta da qual se enrolam os **arames exteriores ou cordões**. Na maioria dos casos, os materiais da alma ou núcleo dos cabos de aço podem ser de **aço ou de fibra**.

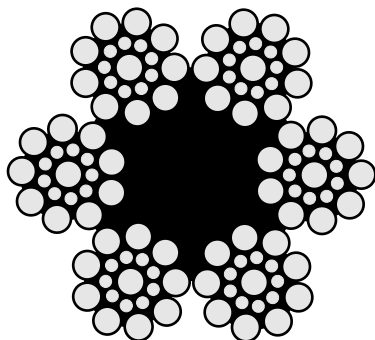


Cabo com alma de aço

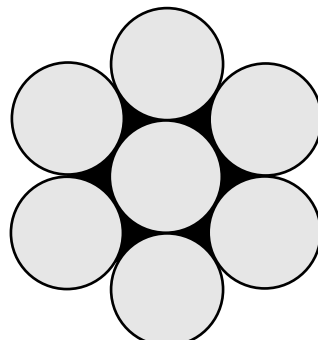


Cabo com alma de fibra

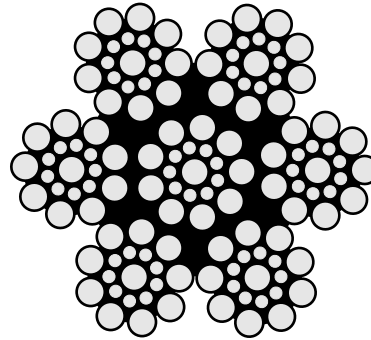
As almas de aço proporcionam **maior resistência à torção** e não são tão propensas a amassamentos.



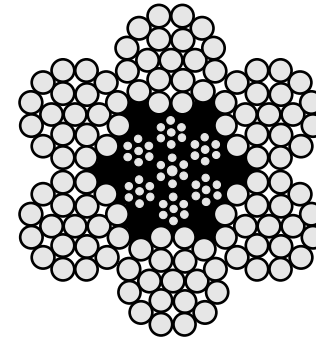
Alma de fibra



Alma de aço



Alma de cordão

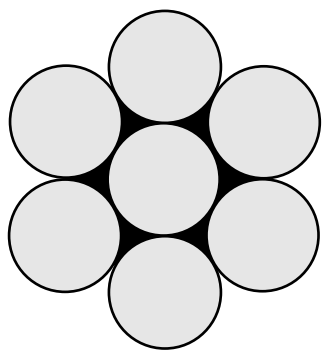


Alma de cabo independente

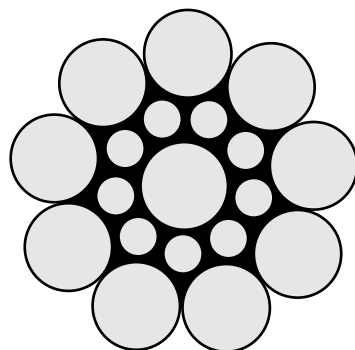
5. Tipos de Cordões

Cabos de Aço – Distribuição de Arames

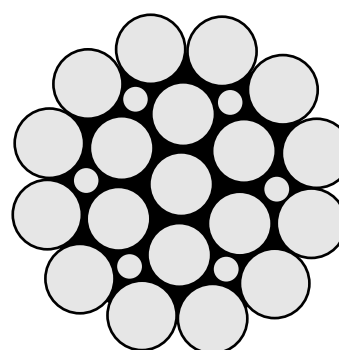
Os **cordões** dos cabos de aço são caracterizados pelo modo como os **arames ou fios estão distribuídos** nas diferentes camadas à volta do arame central. Com efeito, quatro são os principais tipos de cordões de uso mais comum, nomeadamente, o **normal** (N), o **Seale** (S), o **filler** (F) e o **Warrington** (W), (cf. figuras abaixo).



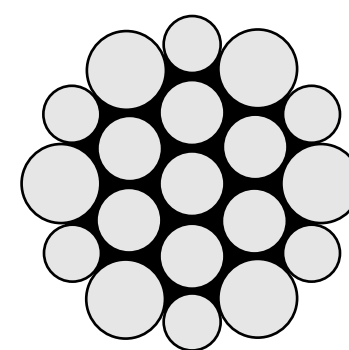
Normal



Seale



Filler



Warrington

A **distribuição normal** usa-se apenas um diâmetro de arame.

Na **distribuição Seale** utilizam-se, alternadamente, arames grossos e finos nas camadas dos cordões.

A **distribuição do tipo filler** utiliza arames grossos e finos nos cordões, de tal modo que os arames finos funcionam como enchimento dos vazios existentes entre as camadas de arames grossos.

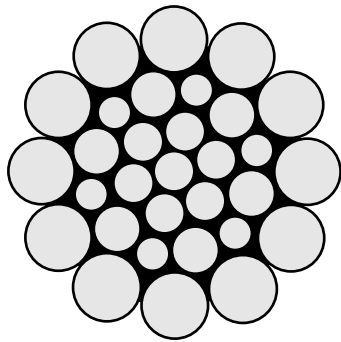
Na **distribuição do tipo Warrington** usam-se arames com diâmetros diferentes numa mesma camada.

5. Tipos de Cordões

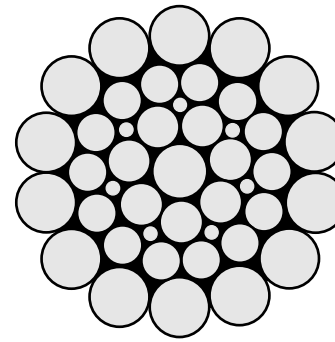
Cabos de Aço – Distribuição de Arames

Deve referir-se que os cordões podem também resultar da combinação das **diferentes construções** apresentadas anteriormente, tal como, por exemplo, o cordão do tipo **Warrington-Seale (WS)** e **filler-Seale (FS)**, tal como se mostra nas figuras abaixo.

Estas construções são utilizadas quando se pretende cabos com **bastante flexibilidade**, sendo que os cordões apresentam **três ou mais camadas de arames**.



Cordão Warrington-Seale



Cordão *filler*-Seale

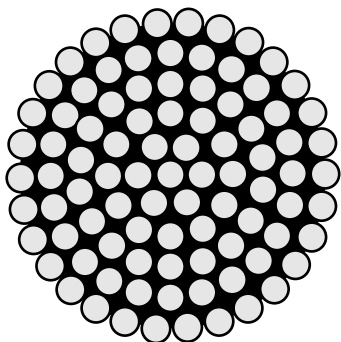
6. Tipos de Cabos e Aplicações

Cabos de Aço

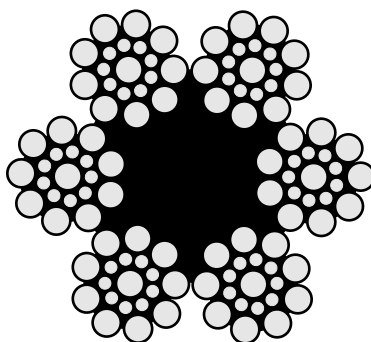
Pode dizer-se que a **quantidade de arames** que existe num dado cabo influencia sobremaneira, e de modo inverso, a **flexibilidade** e a **resistência à abrasão** dos cabos.

Quando se pretende **umentar a capacidade** de carga de um cabo de aço, sem que a flexibilidade seja demasiado penalizada, uma boa solução passa por aumentar o número de camadas de arames, em vez de aumentar o diâmetro do cabo.

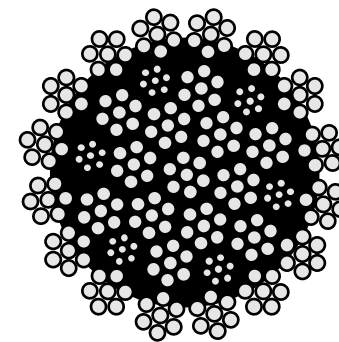
Três classes de cabos de aço podem ser analisadas, nomeadamente, **cabos simples** em hélice, cabos com **seis (ou oito) cordões** e cabos com **múltiplos cordões**, tal como se ilustra nas figuras abaixo.



Cabo simples em hélice



Cabo com seis cordões com alma de fibra



Cabo com múltiplos cordões

Os **cabos simples** em hélice contêm sucessivas camadas de arames concêntricos à volta de um arame central, vulgo alma. Este tipo de cabo é relativamente **pouco flexível**. Por conseguinte, estas propriedades fazem com que estes cabos sejam apropriados para **aplicações estáticas**, tais como em pontes.

6. Tipos de Cabos e Aplicações

Cabos de Aço

Os **cabos com seis ou oito cordões** incluem uma alma independente, a qual pode ser de diferentes tipos, tal como cabo independente ou fibra. As principais características destes tipos de cabos são a **flexibilidade** e a facilidade com que abraçam as polias.

Os **cabos com múltiplos cordões** aliam uma **boa flexibilidade** a uma **boa resistência à torção** quando sujeito a cargas. Em virtude desta última propriedade, os cabos com múltiplos cordões são também denominados cabos antigiratórios ou antirrotação.

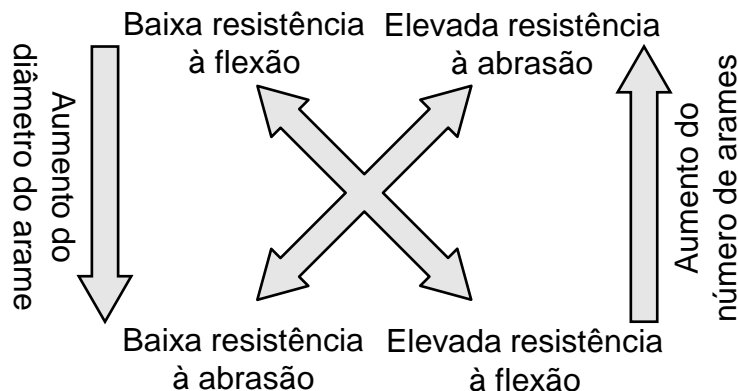
Na tabela abaixo apresentam-se alguns dos principais tipos de **cabos e respetivas aplicações práticas**.

Construção	Descrição	Aplicações
1×7	Cabo de aço simples em hélice com sete arames	Embraiagens e travões
6×7 FC	Cabo de aço com seis cordões de 7 arames cada e com alma de fibra	Pesca
6×19 SFC S	Cabo de aço com seis cordões de 19 arames cada e com alma de fibra artificial, em que o arranjo dos cordões é tipo Seale	Teleféricos
6×19 FC S	Cabo de aço com seis cordões de 19 arames cada e com alma de fibra, em que o arranjo dos cordões é tipo Seale	Elevadores
6×37 IWRC F	Cabo de aço com seis cordões de 37 arames cada e com alma de cabo independente, em que o arranjo dos cordões é do tipo <i>filler</i>	Gruas e monta-cargas
6×41 FC WS	Cabo de aço com seis cordões de 41 arames cada e com alma de fibra, em que o arranjo dos cordões é do tipo Warrington-Seale	Pontes rolantes

7. Projeto e Seleção de Cabos

Dimensionamento

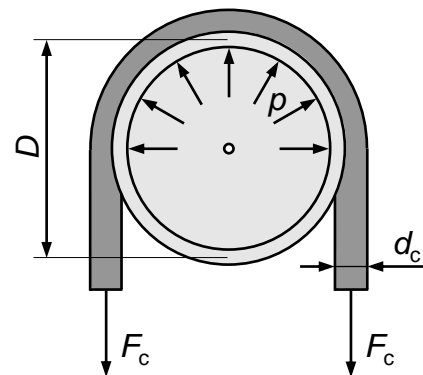
A figura abaixo apresenta uma **análise qualitativa do desempenho de cabos de aço** no que diz respeito à resistência à abrasão e à flexão em função do diâmetro do arame e do número de arames.



Com referência à figura do lado pode afirmar-se que a **força de tração** que atua no cabo é igual à que resulta da pressão de contacto entre o cabo e a polia, ou seja

$$F_c = \frac{1}{2} p d_c D \Rightarrow p = \frac{2F_c}{d_c D}$$

em que p é a pressão de contacto, d_c representa o diâmetro do cabo e D é o diâmetro nominal da polia, ou roldana.



A **pressão de contacto máxima admissível** no sulco da roldana é de 3,3 e 16,6 MPa, respetivamente.

7. Projeto e Seleção de Cabos

Dimensionamento

A **tensão de flexão** de um arame de um cabo que abraça uma polia é dada por

$$\sigma_f = \frac{Mc}{I}$$

Por seu turno, o **momento fletor** é dado por

$$M = \frac{EI}{\rho}$$

onde E é o módulo de elasticidade do arame, I é o momento estático de inércia, e ρ é o raio de curvatura do cabo quando este abraça a polia, em que se pode considerar aceitável a seguinte relação geométrica

$$\rho = \frac{D}{2}$$

A distância à fibra neutra, c , pode ser determinada da seguinte forma

$$c = \frac{d_a}{2}$$

em que d_a representa o diâmetro do arame.

Pode, facilmente, obter-se uma expressão para a **tensão de flexão num arame exterior de um cabo**, ou seja

$$\sigma_f = \frac{E_c d_a}{D}$$

Do ponto de vista do projeto de cabos de aço é recomendável que o quociente D/d_a seja superior a 400. No caso de cabos para elevadores de pessoas, aquele rácio deve ser da ordem dos 800-1000.

7. Projeto e Seleção de Cabos

Dimensionamento

A tabela de abaixo indica valores recomendados para o **diâmetro de polias**, em função do diâmetro do cabo.

Construção	Diâmetro mínimo da polia [mm]	Módulo de elasticidade [GPa]	Fator de construção
6×7	$42d_c$	90–100	0,380
6×19	$26d_c-34d_c$	85–95	0,395
6×37	$18d_c$	75–85	0,400
8×19	$21d_c-26d_c$	65–75	0,352

Uma abordagem prática para **determinar o diâmetro do arame** é a de considerar a seguinte relação

$$d_a = \frac{d_c}{1,5\sqrt{m}}$$

em que d_c é o diâmetro do cabo e m é o produto do número de cordões pelo número de arames do cabo.

A **força de tração** que é exercida num cabo **devido às tensões de flexão** é expressa do seguinte modo

$$F_f = \sigma_f A_m \quad \text{ou seja} \quad F_f = \frac{E_c d_a A_m}{D}$$

O valor da **área de metal** de um cabo pode ser determinado do seguinte modo

$$A_m = f d_c^2$$

onde f é o **fator de construção**, ou coeficiente de enchimento do cabo, e d_c é o diâmetro do cabo.

7. Projeto e Seleção de Cabos

Seleção de Cabos

A **força de tração de rotura** é dada por

$$F_r = \sigma_r A_m$$

em que σ_r é a tensão de rotura do cabo, e A_m é a área metálica.

A tabela do lado apresenta valores de **força de rotura mínima** para diferentes cabos de aço e para uma tensão de rotura igual a 1770 MPa.

O **coeficiente de segurança** pode ser expresso do seguinte modo

$$S = \frac{F_p}{F_i}$$

em que F_p é a força de projeto do cabo e F_i denota a força instalada no cabo.

Aplicação	Coeficiente de segurança
Tração horizontal	4
Teleféricos	5
Monta-cargas e gruas	5
Pontes rolantes	6
Elevadores de carga	8
Elevadores de pessoas	10

Construção	Diâmetro do cabo [mm]	Massa por unidade de comprimento [kg/m]	Força de rotura mínima para σ_r de 1770 MPa [kN]
6×19 FC	6	0,129	21,0
	8	0,230	37,4
	10	0,359	58,4
	12	0,517	84,1
	16	0,919	150
	20	1,44	234
	30	3,24	528
6×19 IWRC	6	0,144	22,7
	8	0,256	40,3
	10	0,400	63,0
	12	0,576	90,7
	16	1,020	161
	20	1,60	252
	30	3,62	570
6×37 FC	6	0,125	18,8
	8	0,221	33,4
	10	0,346	52,2
	12	0,498	75,1
	16	0,886	134
	20	1,38	209
	30	3,12	472
6×37 IWRC	6	0,13	20,3
	8	0,24	36,1
	10	0,38	56,4
	12	0,54	81,2
	16	0,97	144
	20	1,52	225
	30	3,44	510

A tabela do lado inclui valores do **coeficiente de segurança** para várias aplicações de cabos de aço.