

INTRODUÇÃO

O CableApp faz a escolha da seção “técnica” do condutor verificando três critérios de dimensionamento - capacidade de condução de corrente em regime permanente, queda de tensão e a capacidade de condução de corrente de curto-circuito – adotando a maior seção dentre as obtidas em cada um dos critérios.

A utilização de seções superiores à técnica, a qual é a mínima aceitável para uma correta instalação, produz redução do consumo de energia elétrica como também na emissão de CO₂ pela fonte geradora de energia. Essa economia é quantificada por um período de um ano de operação do circuito, para duas hipóteses:

- “solução econômica e ambiental” - utilização de uma seção de condutor acima da solução técnica;
- “economia adicional” - utilização de duas seções de condutor acima da solução técnica e os valores apresentados são adicionais aos anteriores.

Nota: Em ambos os casos o aplicativo utiliza os valores do preço da energia elétrica (R\$/kWh) e de emissões de CO₂ (kg CO₂/kWh) informados pelo usuário, o qual pode também informar o valor quadrático médio da corrente de linha (% da corrente de linha, ver a seguir) ou deixar o padrão de 100 %.

O aplicativo apresenta resultados na tela do dispositivo e o usuário pode também opcionalmente, emitir um relatório (em PDF) e/ou salvar os resultados.

CÁLCULO DA SEÇÃO DEVIDO À CAPACIDADE DE CORRENTE EM REGIME PERMANENTE

O CableApp utiliza as tabelas de máxima capacidade de condução de corrente em regime permanente da NBR 5410, válidas para corrente contínua e alternada nas frequências de 50 e 60 Hz. Utiliza, também, os fatores de correção ali definidos, permitindo ao usuário que calcule o circuito com as condições mais aderentes possíveis à instalação. Esses fatores de correção referem-se a: temperaturas do ambiente (solo e ar), resistividade térmica do solo e agrupamento de cabos/circuitos (solo e ar).

As tabelas de capacidade de corrente da NBR 5410 foram calculadas com base nos seguintes parâmetros:

PARÂMETRO	VALOR
Temperatura do ar	30 °C
Temperatura do solo	20 °C
Profundidade de instalação (quando instalados no solo)	0.7 m
Resistividade térmica do solo (quando instalados no solo)	2,5 K.m/W

CÁLCULO DA SEÇÃO DEVIDO À QUEDA DE TENSÃO

Para calcular a seção de um cabo com base no critério de queda de tensão, é conveniente levar em consideração o efeito da reatância indutiva, especialmente para seções maiores que 35 mm² em condutores de cobre ou 70 mm² em condutores de alumínio.

As seguintes fórmulas para calcular a queda de tensão podem ser utilizadas, as quais consideram o efeito da reatância indutiva:

MONOFÁSICO	TRIFÁSICO
$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\sigma \cdot \left(\Delta U - 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{x}{c} \cdot L \cdot I \cdot \sin\varphi \right)}$	$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\sigma \cdot \left(\Delta U - \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{x}{c} \cdot L \cdot I \cdot \sin\varphi \right)}$

Onde:

- S = seção do condutor em mm²
- cos φ = fator de potência
- L = comprimento da linha em metros
- I = intensidade da corrente da linha em A (ver abaixo)
- σ = condutividade do condutor em m/Ω•mm² (ver abaixo)
- ΔU = queda de tensão máxima permitida em V
- x = reatância indutiva da linha = 0,10 Ω / km
- c = número de condutores por fase

Nota: Por simplificação, não estão considerados os efeitos pelicular e de proximidade os quais, de certa forma, interferem na resistência elétrica do condutor (principalmente em seções acima de 70mm²), como também, o valor da reatância está fixo e igual a 0,10 Ω / km, independente da seção e arranjo físico dos condutores.

A queda de tensão assim calculada é aceitável na grande maioria dos casos. Valores mais precisos da resistência à corrente alternada (considerando os efeitos pelicular e de proximidade) bem como da reatância indutiva podem ser obtidos no Guia de Dimensionamento de Cabos disponível no site da Prysmian [clique aqui](#).

INTENSIDADE DE CORRENTE DA LINHA

MONOFÁSICO	TRIFÁSICO
$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi \cdot \eta}$	$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta}$
$I = \frac{S}{U}$	$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$

Onde:

- I = intensidade da corrente de linha (A)
- P = potência (W)
- U = tensão fase-neutro (monofásico) ou entre fases (trifásico) (V)
- cos φ = fator de potência
- S = potência aparente (VA)
- η = rendimento do motor (quando houver carga motora).

CONDUTIVIDADE DO CONDUTOR EM m/Ω•mm²

Material do Condutor	Temperatura do Condutor		
	20°C	70°C (termoplásticos)	90°C (termofixos)
Cobre	58,00	48,47	45,49
Alumínio	35,71	29,67	27,80

CÁLCULO DA SEÇÃO DEVIDO À CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO

Pode-se calcular a máxima corrente de curto-circuito que o condutor de um cabo pode suportar com a expressão:

$$I_{cc} = k \cdot S / \sqrt{t}$$

Onde:

- I_{cc} = corrente de curto-circuito em A.
- k = constante que depende do material do condutor (Cu ou Al) e do tipo de isolamento: termoplástico (PVC, LSHF/A) ou termofixo. (HEPR, XLPE).
- S = seção do condutor em mm².
- t = duração do curto-circuito em segundos (máximo de 5 segundos).

VALOR DE "K"	MATERIAL CONDUTOR	
	Cobre	Alumínio
Termoplástico (160°C)	115	76
Termofixo (250°C)	143	94

GANHOS ECONÔMICO E ECOLÓGICO EM LINHAS ELÉTRICAS

A potência elétrica (P) dissipada por um condutor de resistência R quando percorrido por uma corrente (I) é:

$$P = R \cdot I^2$$

(lei de Joule)

A energia térmica perdida em uma linha elétrica corresponde à seguinte expressão geral:

$$EP = n \cdot R \cdot (I/c)^2 \cdot L \cdot t / 1000$$

Onde:

EP: energia perdida na linha [kWh]

n: número de condutores carregados

c: número de condutores por fase

R: resistência do condutor [Ω /km]

L: comprimento da linha [km]

I: corrente da linha [A]

t: tempo [h]

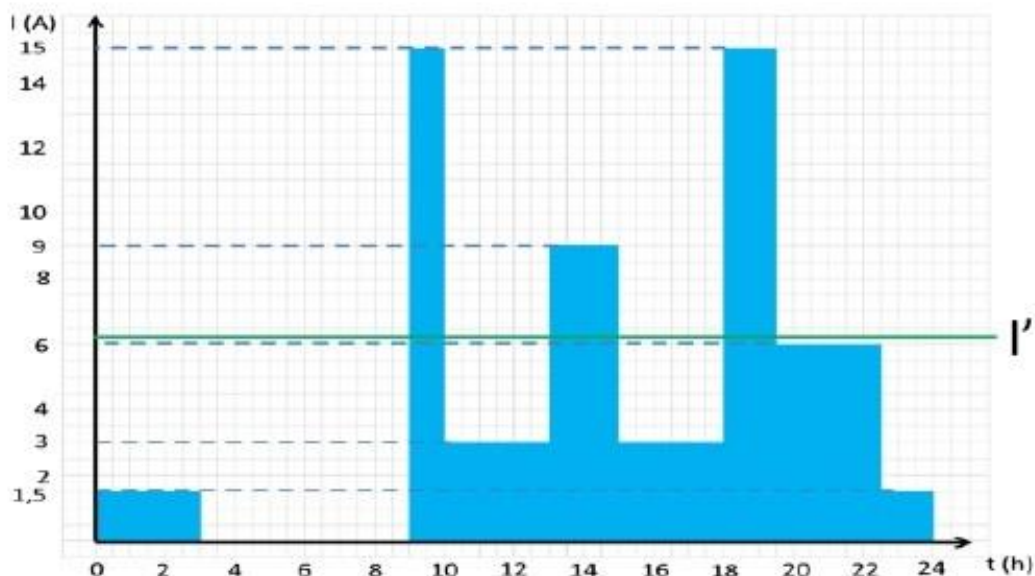
Se a seção do condutor (S) de um cabo for aumentada, sua resistência (R) será menor. Ao transportar a mesma corrente (I), haverá uma redução na energia perdida (EP). Essa economia de energia pode ser quantificada como um preço menor nas contas de energia elétrica com consequente redução nas emissões de CO₂ pela usina geradora.

Intrinsecamente o cabo será mais caro uma vez que a seção do condutor (S) é maior, mas o usuário terá os seguintes benefícios:

- Valor das contas de energia elétrica reduzidos;
- Redução de emissões de CO₂, portanto, uma proposta ambiental melhor;
- Vida útil do cabo prolongada, pois estará operando a uma temperatura mais baixa;
- Melhor desempenho em sobrecarga e curto-circuito – seções de condutor maiores podem transportar correntes mais elevadas em condições de sobrecarga e curto-circuito;
- Potencial para transportar cargas mais altas no futuro.

Como regra geral, as linhas elétricas não carregam a mesma corrente (I) o tempo todo (t), ou seja, a corrente (I) varia ao longo do tempo na maioria das instalações. Portanto, para evitar que o resultado não reflita a realidade, é aconselhável considerar um valor de corrente constante (I') que produza a mesma energia que a corrente variável (I), no mesmo período de tempo. Essa corrente (I') é denominada valor quadrático médio da corrente (I) (não confundir com o valor médio, uma vez que a corrente na Lei de Joule é elevada ao quadrado).

Na figura abaixo (I) é a corrente variável de valor 15 A, representada pelos retângulos azuis e (I') é a corrente quadrática média (aprox.6 A).



Como padrão o CableApp utiliza o valor quadrático médio da corrente (I') igual a 100% de I, mas também sugere outros (conforme abaixo) e permite que o usuário insira manualmente valores mais apropriados à sua instalação.

I' = 100% I (padrão)

40% I (residencial)

60% I (local público)

75% I (industrial)

outras %

Uma vez obtida a energia perdida com os condutores de resistência R1, caso se aumente a seção dos mesmos menores serão as perdas. A economia de energia (EA) através da instalação de condutores com menor resistência R2, será:

$$EA = n \cdot (R1-R2) \cdot L \cdot (I'/c)^2 \cdot t / 1000 \quad (S2 > S1)$$

Com essa energia economizada, pode-se calcular o ganho econômico (em R\$) como também a redução de emissões de CO₂, pois são conhecidos os valores da tarifa de energia elétrica em R\$/kWh e das emissões de CO₂ por kWh gerado.

Inserindo o valor da tarifa de eletricidade e o valor das emissões de CO₂ por kWh, obtém-se a economia conseguida com a instalação dos cabos com condutores de seção maior.

Tarifa = 0,70 R\$/kWh (valor padrão proposto)

Nota: para mais informações consulte sua concessionária de energia.

Emissões de CO₂ = 0,10 kg CO₂/ kWh (valor proposto, levando em consideração o mix de energia do país, segundo dados do governo brasileiro)

Nota: Para mais informações sobre este valor consulte:

https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html

EXEMPLO DE APLICAÇÃO:

Cálculo econômico e ecológico de uma linha trifásica de 130 m com condutores de cobre de 150 mm² e corrente de 268 A.

Para medir a economia, deve-se considerar o aumento na seção do condutor, utilizando uma superior.

A próxima seção padrão e superior a 150 mm² é 185 mm².

Secção	Resistência Ω/km	
	Cobre	Alumínio
1.5	15.91	-
2.5	9.55	-
4	5.92	-
6	3.95	-
10	2.29	-
16	1,48	2,3
25	0,934	1,446
35	0,663	1,042
50	0,463	0,772
70	0,326	0,56
95	0,248	0,386
120	0,195	0,305
150	0,157	0,249
185	0,13	0,199
240	0,1	0,152
300	0,082	0,129
400	0,064	0,101

Se o cálculo for para um ano de operação da linha, o tempo (t) será $365 \times 24 = 8760$ h.

Supondo que a linha seja de local público e que seja aceito o valor aqui sugerido para o quadrático médio da corrente de 60% (I), ou seja, $I' = 60\% I$.

Pode-se calcular a energia que será economizada em um ano, utilizando condutores de 185 mm² em vez de 150 mm².

$$EA = (n \cdot (R_{185} - R_{150}) \cdot L \cdot (I'/c)^2 \cdot t) / 1,000 = (3 \times (0.157 - 0.13) \times 0.13 \times (0.6 \times 268/1)^2 \times 8760) / 1000 = 2385 \text{ kWh}$$

Com os valores de tarifa de energia e emissão de CO₂ acima informados, tem-se:

- em R\$ = 2385 kWh x 0,70 R\$/kWh = R\$ 1.669,50
- em CO₂ = 2385 kWh x 0,10 kg CO₂/kWh = 238,50 kg CO₂

Nota: este método de cálculo não está relacionado com a norma da ABNT NBR 15920:2011 Cabos elétricos — Cálculo da corrente nominal — Condições de operação — Otimização econômica das seções dos cabos de potência.

MAIS DE UM CONDUTOR POR FASE

Em situações onde o valor de corrente elétrica indicado pelo usuário excede o limite máximo suportado por apenas um condutor, o CableApp então considera a aplicação de 2 ou mais condutores por fase, o afastamento entre cabos do mesmo circuito como sendo afastamento entre circuitos bem como a aplicação de fatores de agrupamento quando necessário.

O usuário deve tomar atenção nesta situação quanto ao preenchimento do campo “separação entre circuitos”, pois se este campo for preenchido com “ $\leq 2De$ ” será considerado o fator de agrupamento e caso seja preenchido com “ $>2De$ ” não será aplicado fator de agrupamento.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO:

Cabo Afumex Flex – Multipolar*

Tensão Trifásica de 230V

Corrente elétrica de 500A

*Os cabos multipolares possuem limite de fabricação de 240mm².

Ao selecionar as opções:

Cálculo por tipo de Instalação	
Aplicação	
Cabo unipolar / multipolar para instalações fixas de até 1kV	▼
Instalação	
Eletrocalha ou perfilado suspenso ou aparente sobre a parede (B1, B2)	▼

De acordo com a tabela 37 da NBR5410 os cabos de 240mm² na condição B2 para 3 condutores carregados suporta uma corrente elétrica de 407A.

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D
Condutores: cobre e alumínio
Isolação: EPR ou XLPE
Temperatura no condutor: 90°C
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351

Ao selecionar no campo “separação entre circuitos”:

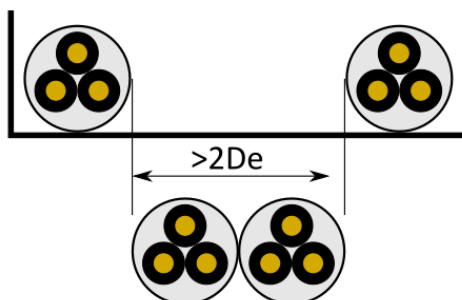
Separação entre circuitos

▼
encostados ou próximos $\leq 2De$

selecione

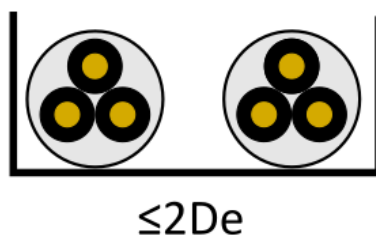
encostados ou próximos $\leq 2De$
afastados $> 2De$

Caso 1: Considerando a “separação dos cabos” $> 2De$ o resultado será de 2 cabos por fase de 120mm². Ou seja, com essa opção selecionada, entende-se que o sistema estará conforme disposto na figura abaixo e, portanto, **não se aplica** fator de agrupamento:



Portanto: $2 \times 120\text{mm}^2$ (268A) = total 536A.

Caso 2: Considerando a “separação dos cabos” $\leq 2De$ o resultado será de 2 cabos por fase de 185mm^2 , porque neste caso, aplica-se o fator de agrupamento 0,8 (Tabela 42 da NBR5410). Ou seja, entende-se que o sistema estará disposto conforme a figura abaixo:



Portanto:

$2 \times 120\text{mm}^2$ (268A) $\times 0,8$ = total 428A.

Menor que 500A não atende!

$2 \times 150\text{mm}^2$ (307A) $\times 0,8$ = total 491,2A.

Menor que 500A não atende!

$2 \times 185\text{mm}^2$ (348A) $\times 0,8$ = total 556,8A.

Maior que 500A. Atende!

MÉTODOS DE INSTALAÇÃO – NBR5410

Tipo de linha elétrica	Método de Instalação ⁽²⁾	Condutor Isolado	Cabo Unipolar	Cabo Multipolar
		Superastic, Superastic Flex e Afumex Green.	Sintenax, Sintenax Flex, Gsette Easy, Voltenax, Voltalene e Afumex Flex.	Sintenax, Sintenax Flex, Gsette Easy, Voltenax, Voltalene e Afumex Flex.
		Método de referência		
Eletroduto embutido em parede isolante	1/2	A1	A1	A2
Embutimento direto em parede isolante	51	-	-	A1
Moldura	71	A1	A1	-
Eletroduto embutido em caixilho de porta ou janela	73/74	A1		-
Embutimento direto em caixilho de porta ou janela	73/74	-	A1	A1
Eletroduto aparente	3/4/5/6	B1	B1	B2
Eletroduto embutido em alvenaria	7/8	B1	B1	B2
Diretamente em espaço de construção - $1,5D_e \leq V < 5D_e$ ⁽⁵⁾	21	-	B2	B2
Diretamente em espaço de construção - $5D_e \leq V < 50D_e$ ⁽⁵⁾	21	-	B1	B1
Eletroduto em espaço de construção - $1,5D_e \leq V < 5D_e$ ⁽⁵⁾	22/24	B2	-	-
Eletroduto em espaço de construção - $V \geq 20D_e$ ⁽⁵⁾	22/24	B1	-	-
Eletroduto em espaço de construção	23/25	-	B2	B2
Eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria - $1,5D_e \leq V < 5D_e$ ⁽⁵⁾	26	B2	-	-
Eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria - $5D_e \leq V < 50D_e$ ⁽⁵⁾	26	B1	-	-
Eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria	27	-	B2	B2
Forro falso ou piso elevado - $1,5D_e \leq V < 5D_e$ ⁽⁵⁾	28	-	B2	B2
Forro falso ou piso elevado - $5D_e \leq V < 50D_e$ ⁽⁵⁾	28	-	B1	B1
Eletrocalha	31/31A/32/32A/35/36	B1	B1	B2
Canaleta fechada no piso, solo ou parede.	33/34/72/72A/75/75A	B1	B1	B2
Eletroduto em canaleta fechada - $1,5D_e \leq V < 20D_e$ ⁽⁵⁾	41	B2	B2	-
Eletroduto em canaleta fechada - $V \geq 20D_e$ ⁽⁵⁾	41	B1	B1	-
Eletroduto em canaleta ventilada no piso ou solo	42	B1	-	-
Canaleta ventilada no piso ou solo	43	-	B1	B1
Fixação direta à parede ou teto ⁽⁴⁾	11/11A/11B	-	C	C
Bandejas não perfuradas ou prateleiras	12	-	C	C
Embutimento direto em alvenaria	52/53	-	C	C
Eletroduto enterrado no solo ou canaleta não ventilada no solo	61/61A	-	D	D
Diretamente enterrado	63	-	D	D
Bandejas perfuradas (horizontal ou vertical)	13	-	F	E
Leitos, suportes horizontais ou telas	14/16	-	F	E
Afastado da parede ou suspenso por cabo de suporte ⁽³⁾	15/17	-	F	E
Sobre isoladores	18	G	G	-

- (1) Os locais da tabela assinalados por (-) significam que os cabos correspondentes não podem, de acordo com a NBR 5410/2004, ser instalados na maneira especificada ou então trata-se de uma maneira de instalar não usual para o tipo de cabo escolhido.
- (2) método de instalação conforme a tabela 33 da NBR 5410/2004
- (3) distância entre o cabo e a parede $\geq 0,3$ diâmetro externo do cabo
- (4) distância entre o cabo e a parede $< 0,3$ diâmetro externo do cabo
- (5) V = altura do espaço de construção ou da canaleta / D_e = diâmetro externo do cabo