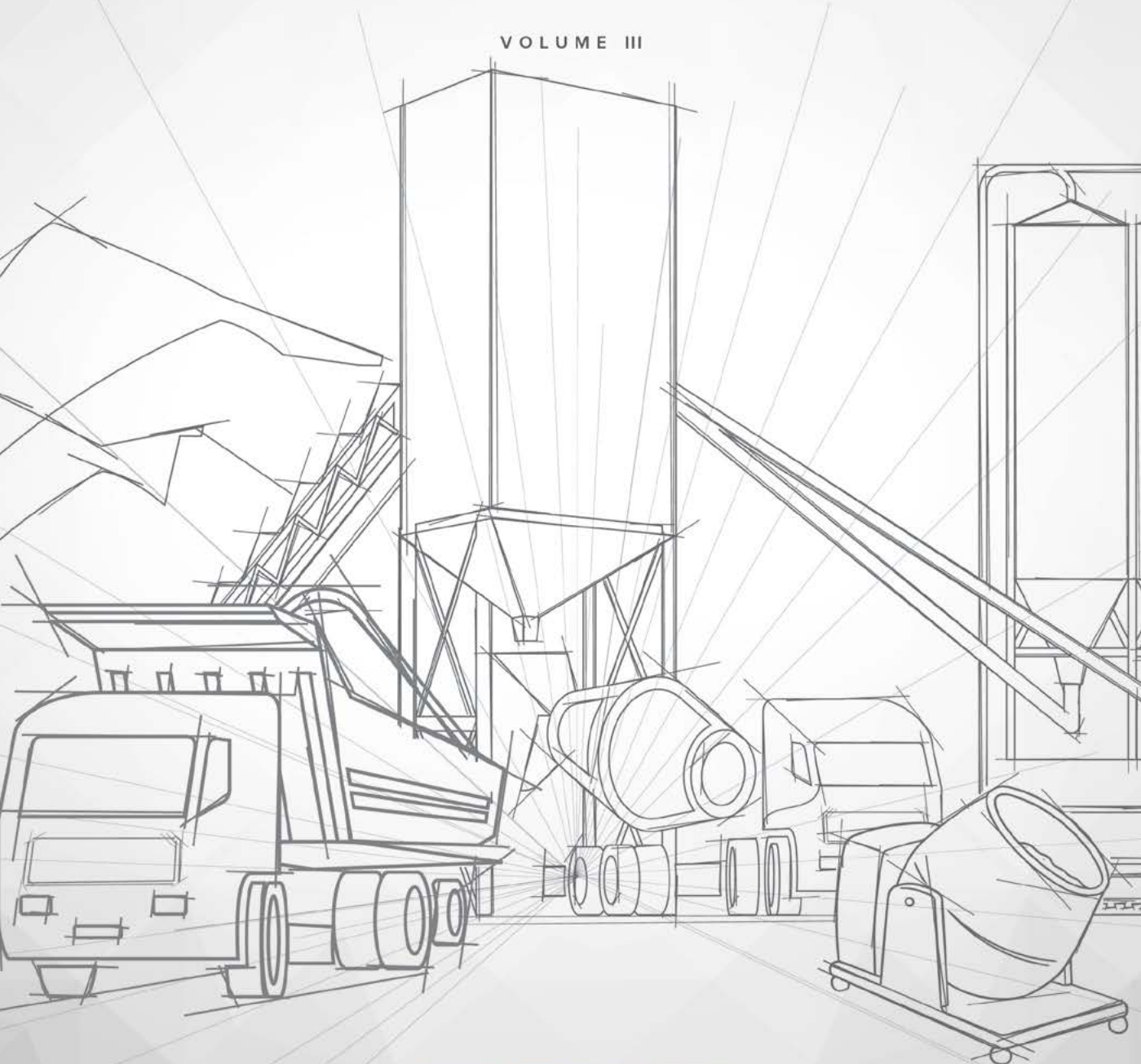


---

GUIA DE APLICAÇÃO PARA CABOS  
ELÉTRICOS COM CONDUTORES EM COBRE

# INDÚSTRIA DO CIMENTO

VOLUME III



International Copper  
Association Brazil  
Copper Alliance

---

GUIA DE APLICAÇÃO PARA CABOS  
ELÉTRICOS COM CONDUTORES EM COBRE

# INDÚSTRIA DO CIMENTO

VOLUME III



International Copper  
Association Brazil  
Copper Alliance

---

## AGRADECIMENTOS

O ICA/Procobre agradece o apoio das seguintes empresas fabricantes de cabos para a realização desta publicação:

GENERAL CABLE BRASIL

NEXANS BRASIL S.A.

PRYSMIAN CABOS E SISTEMAS DO BRASIL S.A.

E de maneira geral, agradecemos a todas as empresas e indústrias do setor de Cimento que participaram direta ou indiretamente com contribuições técnicas e boas práticas de engenharia de aplicação.

---

## ESCLARECIMENTOS

O presente documento foi redigido meramente para fins de informação e debate. As informações aqui presentes não devem ser consideradas e aplicadas a todas as circunstâncias, em virtude das características específicas de cada tipo de instalação e projeto. O ICA/Procobre e qualquer outra instituição que participou de sua elaboração não se responsabilizarão por qualquer dano ou prejuízo causado pelo uso das informações aqui contidas, uma vez que este documento não dispensa a consulta às normas ABNT NBR da Associação Brasileira de Normas Técnicas, outras fontes normativas aplicáveis e o estudo da instalação ou projeto específico.

# INTRODUÇÃO

Esse guia faz parte de um conjunto de publicações denominado “Guia de Aplicação para Cabos Elétricos com Condutores em Cobre”, composto por diversos volumes. No primeiro volume foi abordado o setor de Infraestrutura de Transporte, com foco nos segmentos portuário, aeroportuário e metroferroviário. No segundo volume, o enfoque foi o setor de Óleo, Gás e Petroquímico. O foco neste volume são os desafios encontrados no setor da indústria Cimenteira.

A engenharia exerce papel preponderante no desenvolvimento econômico de um país, para os mais diversos segmentos do mercado. Sua evolução depende da capacidade de inovação tecnológica e competitividade industrial, importância transferida aos profissionais da área e aos projetos em que atuam. Atualizar conhecimentos, absorver tendências, unir teoria e prática são condições essenciais para o aprimoramento de produtos e o aumento da eficiência dos processos.

A proposta principal do ICA/Procobre é contribuir para a renovação de conhecimento e com esse objetivo decidiu elaborar uma série de guias de aplicação para cabos elétricos que abordam, individualmente, distintos mercados para realçar a importância da engenharia de aplicação no atual cenário mundial, que tem sido influenciado por novos temas: tempos de economia criativa, de expansão de melhores e inovadoras práticas que levem ao aumento da eficiência e ao uso consciente dos recursos naturais.

Projetos passam a ser impulsionados por novas demandas sociais e negociais, partem de novos paradigmas, exigem uma visão integradora de diversos e complexos sistemas que unem o uso eficiente de energia e materiais, privilegiando sistemas renováveis e inteligentes para conciliar: as necessidades da sociedade, a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. Diante desse panorama, é significativo estimular o aprofundamento do conhecimento sobre os atributos e aplicações do cobre.

O “Guia de Aplicação para Cabos Elétricos com Condutores em Cobre” foi elaborado para fornecer ao leitor os principais conceitos teóricos referentes às diversas partes que compõem um cabo elétrico e sua aplicabilidade em cada segmento de mercado.

O texto procura introduzir novas e relevantes visões sobre o tema, utilizando como critérios, além do dimensionamento técnico de cabos elétricos, também a eficiência energética e conceitos ambientalmente sustentáveis.

A produção do “Guia de Aplicação para Cabos Elétricos com Condutores em Cobre” contou com o apoio dos fabricantes de cabos elétricos, que disponibilizaram seu acervo técnico a respeito de dimensionamento de cabos. Além disso, foram realizadas pesquisas em mídia impressa e eletrônica, e com empresas do setor que possibilitaram reunir as informações necessárias para uma correta aplicação de cabos elétricos em cobre.

É importante ressaltar que este guia foi desenvolvido com base nas Normas ABNT NBR vigentes na data de sua publicação, portanto, os leitores deverão complementar as informações resumidas, aqui citadas, consultando as Normas e suas eventuais futuras revisões, já que o guia não tem a intenção de substituir essa consulta.

Uma vez que o mercado utiliza três denominações diferentes: “cabo elétrico”, “condutor elétrico”, ou simplesmente “cabo”, é necessário esclarecer que esses termos têm o mesmo significado, se referem a um fio ou cabo – isolado ou não, unipolar (um único condutor isolado) ou multipolar (dois ou mais condutores isolados) – utilizado para a condução da energia elétrica. Cabe informar que a título de uniformização de terminologia, neste guia, foi adotada a denominação “cabo elétrico” [1].

Reunindo conhecimento teórico e prático e incluindo dados colhidos pelas organizações que compõem a cadeia produtiva do setor, o ICA/Procobre espera que este guia possa facilitar a aplicação dos cabos em cobre na indústria do cimento.

Para facilitar a pesquisa bibliográfica, as fontes consultadas foram numeradas e as referências estão dispostas, no decorrer do texto, da seguinte maneira: [1], [2], etc.

Caso haja necessidade de um aprofundamento das informações, ao final do texto estão disponibilizadas as fontes utilizadas para sua elaboração.

Boa leitura!

Outubro de 2016

<b>1. OBJETIVO.....</b>	<b>7</b>
<b>2. INSTITUCIONAL - ICA/PROCOBRE.....</b>	<b>7</b>
<b>3. COBRE – CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS.....</b>	<b>10</b>
3.1 RESISTIVIDADE ELÉTRICA.....	11
3.2 CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	12
3.3 BENEFÍCIOS.....	12
<b>4. SUSTENTABILIDADE.....</b>	<b>16</b>
4.1 COBRE É ESSENCIAL PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL.....	16
4.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	18
4.3 ENERGIA RENOVÁVEL.....	20
4.4 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS.....	22
4.5 RECICLAGEM.....	23
<b>5. SEGMENTO DE MERCADO – INDÚSTRIA DO CIMENTO.....</b>	<b>26</b>
<b>6. DEFINIÇÕES – DADOS CONSTRUTIVOS DO CABO ELÉTRICO.....</b>	<b>30</b>
6.1 CONDUTOR.....	31
6.2 TÊMPERA.....	35
6.3 CLASSE DE ENCORDAMENTO.....	35
6.4 BLINDAGEM DO CONDUTOR.....	38
6.5 ISOLAÇÃO.....	39
6.6 BLINDAGEM DA ISOLAÇÃO.....	42
6.7 CABOS MULTIPOLARES.....	43
6.8 ARMAÇÃO.....	44
6.9 COBERTURA.....	44
6.10 COMENTÁRIOS PRÁTICOS.....	48

<b>7. DIMENSIONAMENTO COMO DIMENSIONAR O CABO.....</b>	<b>50</b>
7.1. DIMENSIONAMENTO TÉCNICO.....	50
7.1.1. SEÇÃO NOMINAL MÍNIMA DO CONDUTOR.....	51
7.1.2. CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE.....	54
7.1.3. LIMITES DE QUEDA DE TENSÃO.....	59
7.1.4. FATOR DE CORREÇÃO PARA TEMPERATURA AMBIENTE.....	62
7.1.5. FATOR DE CORREÇÃO DA RESISTIVIDADE TÉRMICA DO SOLO.....	63
7.1.6. FATOR DE CORREÇÃO PARA AGRUPAMENTO DE CIRCUITOS.....	64
7.1.7. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO.....	67
7.2. EXEMPLO DE CABO PARA A INDÚSTRIA DO CIMENTO.....	68
7.3. DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO E AMBIENTAL.....	71
<b>8. A ENGENHARIA DE APLICAÇÃO DOS CABOS ELÉTRICOS.....</b>	<b>74</b>
8.1. COMO REDIGIR A ESPECIFICAÇÃO DE UM CABO ELÉTRICO.....	74
8.2. APLICAÇÃO DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA DO CIMENTO.....	77
8.3. SUGESTÕES PARA ENRIQUECER A RELAÇÃO ENTRE CLIENTE E FABRICANTE.....	82
<b>9. CONCLUSÃO.....</b>	<b>84</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>85</b>

---

## 1. OBJETIVO

O “Guia de Aplicação para Cabos Elétricos com condutores em Cobre” busca estabelecer parâmetros importantes para a definição do uso de cabos elétricos produzidos em cobre, bem como demonstrar, para fins elétricos, a qualidade, o desempenho e os benefícios que somente este metal pode oferecer.

No decorrer do guia, é realçada a importância do cálculo do custo global do investimento durante o ciclo de vida do produto para a definição do (tipo de) cabo a ser utilizado, considerando todos os aspectos envolvidos na aplicação do cabo de cobre, tais como: manutenção, transporte, armazenagem e conexões.

O guia não tem a pretensão de abordar todas as aplicações envolvidas no segmento da indústria cimenteira em virtude da ampla variedade de cabos elétricos utilizados, mas sim, servir de orientação para um posterior aprofundamento por parte do leitor.

A indústria cimenteira atua desde a área de mineração, setor que será abordado em um guia específico, até a área de distribuição do produto final, o cimento. Produto que se tornou o bem mais importante da construção civil no país.

Considerando o conceito da engenharia de aplicação voltada à indústria cimenteira, este material foi preparado para servir de apoio a projetos desse setor especificamente na definição dos cabos elétricos a serem escolhidos, inclusive com a descrição do passo a passo das fases de produção e dos detalhes a serem observados e definidos.

Finalmente, o Guia apresenta a comparação entre o dimensionamento técnico e o dimensionamento econômico e ambiental, abordando aspectos sobre a eficiência energética obtida pelo uso do cobre para fins elétricos, e sua contribuição na redução de emissões de CO<sub>2</sub>.

---

## 2. INSTITUCIONAL - ICA/PROCOBRE

A *International Copper Association (ICA)* é uma organização sem fins lucrativos com a missão de integrar, desenvolver, promover e defender o mercado do cobre por meio de funções de suporte, tais como: regulamentação, treinamento, comunicação, parceria, suporte técnico e inteligência de mercado.



Levando a mensagem de que o cobre é único e essencial, o ICA apoia e desenvolve pesquisas em várias áreas para a evolução das aplicações e tecnologias na indústria e para o crescimento do mercado. A sólida base de relacionamento com os governos, ONG's, órgãos reguladores, entidades afins e usuários permite que a organização aja na defesa dos interesses comuns, com atuação marcante em projetos, normas e regulamentações.

A *International Copper Association*, financiada por seus membros, vem atuando ao longo de muitos anos na defesa do uso do cobre. Como representante de seus associados intercede persistentemente para garantir o acesso contínuo dos produtos derivados do cobre ao mercado, conquistando junto a eles um elevado nível de credibilidade e confiança.

Sua história remonta a mais de 90 anos e, atualmente, os seus associados compreendem 43 empresas globais constituídas por mineradoras e fabricantes, sendo que as mineradoras representam 60 % da produção mundial de cobre. Com sede em Nova Iorque, o ICA possui escritórios regionais em Bruxelas, Nova Iorque, Santiago e Xangai, dispõe de 26 centros de promoção e tem atividades em 60 países, nos 5 continentes.

Na América Latina, o ICA é representado pelo Procobre e atua na Argentina, Brasil, Colômbia, Chile, México e Peru, países que, juntos, representam 90 % do consumo de cobre desta região. Além disso, a região responde por aproximadamente 50 % da produção mundial do metal.

O ICA/Procobre disponibiliza importante conteúdo técnico e informativo por meio do projeto Leonardo Energy. Criado na Europa em 2001, provocou a formação de uma grande comunidade de especialistas, cuja proposta é estabelecer uma economia sustentável baseada na eficiência energética e na energia renovável.

Tal experiência também está disponível no Brasil, oferecendo, aos profissionais do setor elétrico e energético, acesso a notícias, palestras, artigos e *webinars* sobre temas da atualidade, tais como: a eficiência energética, energias renováveis, gestão de energia, gestão de ativos, segurança com a eletricidade e sustentabilidade. Todo esse conteúdo está disponível em uma plataforma simples e amigável.

Este projeto é ferramenta indispensável para os profissionais técnicos, que podem se atualizar no que há de mais interessante nesse segmento, consultando os sites:

[www.procobre.org/pt](http://www.procobre.org/pt) e [www.leonardo-energy.org.br](http://www.leonardo-energy.org.br)





# COBRE

CARACTERÍSTICAS  
E BENEFÍCIOS

---

### 3. COBRE – CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS



O cobre foi um dos primeiros metais a serem beneficiados pelo homem já nos primórdios da humanidade (6.000 a.C. – Idade do Cobre). Classificado como metal de transição, pertence ao grupo 11 (1B) da Tabela Periódica. É um dos metais mais importantes na indústria. De coloração avermelhada, o cobre é dúctil, maleável, bom condutor elétrico e tem como característica alta condutividade térmica.

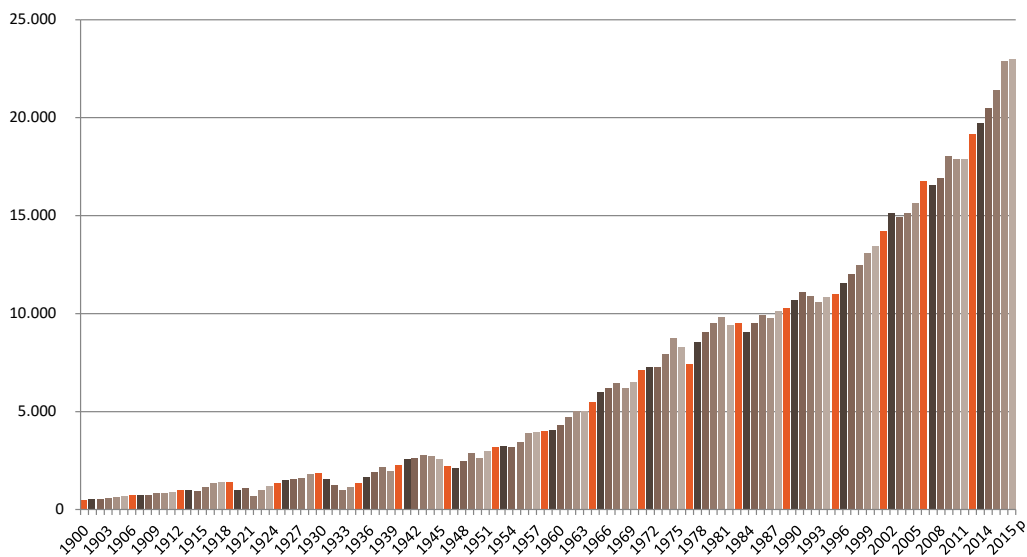
Impossível imaginar a vida sem cobre. Elemento inovador, este metal contribui para a melhoria da qualidade de vida, o avanço tecnológico e o desenvolvimento econômico e sustentável. Desde a Antiguidade até os dias de hoje, este metal torna-se cada vez mais atual, indo ao encontro dos desafios da sociedade moderna, como a escassez de recursos, as mudanças climáticas e os problemas de saúde pública.

A demanda global por cobre continua a crescer: o consumo de produtos refinados mais que triplicou nos últimos 50 anos [2], refletindo o papel do cobre no avanço da tecnologia, na expansão da atividade econômica e para melhorar a qualidade de vida. O cobre oferece múltiplos benefícios: aumenta a eficiência energética, estimula a energia sustentável, promove o desenvolvimento tecnológico, além de também ter a qualidade de ser antimicrobiano. O metal é utilizado em inúmeras aplicações: arquitetura, saúde, meio ambiente, piscicultura. Em regiões desenvolvidas, o cobre está presente em muitos sistemas técnicos, em diversos setores: construção civil, energia, telecomunicações e transporte. Em regiões menos desenvolvidas, é componente eficiente em sistemas essenciais para expandir o desenvolvimento econômico dessas áreas e produzir melhorias na qualidade de vida das pessoas.

## O USO MUNDIAL DO COBRE REFINADO

Mil toneladas métricas

Fonte: ICSG

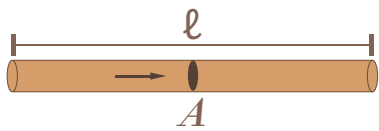


Note: p/ preliminary

Desde 1900, o uso de cobre refinado aumentou de menos de 500 mil toneladas para 22,9 milhões de toneladas em 2014, o que mostra, neste período, uma taxa composta de crescimento anual de 3,4 %.

O cobre detém inúmeras características que o definem como o elemento metálico ideal a ser utilizado para fins elétricos – dentre elas, se destacam a eficiente resistividade elétrica e condutividade térmica, descritas a seguir.

### 3.1 RESISTIVIDADE ELÉTRICA



Resistividade elétrica é a medida da oposição ao fluxo da corrente elétrica. O condutor ideal é o material com a menor resistividade. No Sistema Internacional de Unidades (SI) a resistividade é representada por  $\rho$  e sua unidade é o ohm.m ( $\Omega\text{m}$ ).

A partir desse conceito e aplicando-se a Segunda Lei de Ohm pode-se definir a resistência elétrica de um condutor – no SI sua unidade é o ohm ( $\Omega$ ). [3]

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

$\rho$  é a resistividade elétrica do material ( $\Omega\text{m}$ )  
 $R$  é a resistência elétrica do condutor ( $\Omega$ )  
 $\ell$  é o comprimento do condutor (m)  
 $A$  é a área da seção do condutor ( $\text{m}^2$ )

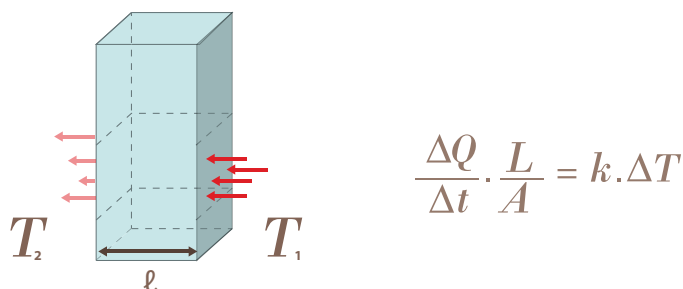
## 3.2 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica ( $k$ ) quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica. Condutores elétricos construídos com materiais de alta condutividade térmica conduzem energia térmica de forma mais rápida e eficiente.

A condutividade térmica é uma característica específica de cada material, e depende tanto da pureza como da temperatura na qual ele se encontra (especialmente em baixas temperaturas). Em geral, a condução de energia térmica nos materiais aumenta à medida que a temperatura aumenta.

A condutividade térmica equivale numericamente à quantidade de calor  $Q$  transmitida por unidade de tempo através de um objeto com espessura  $L$  unitária, numa direção normal à área da superfície de sua seção reta  $A$ , também unitária, devido a uma variação de temperatura  $\Delta T$  unitária entre as extremidades longitudinais. O inverso da condutividade térmica é a resistividade térmica. [4]

No SI a condutividade térmica é medida em unidades de watt por metro kelvin [W/(m·K)].



Unidades:

$\Delta Q$  em joule (J)

$\Delta t$  em segundo (s)

$L$  em metro (m)

$A$  em metro quadrado (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  em Kelvin (K)

## 3.3 BENEFÍCIOS

Para fins elétricos, quando se compara o cobre ao seu concorrente mais provável, o alumínio, muitas vantagens podem ser observadas. Algumas foram detalhadas a seguir.

De acordo com o estudo de caso, realizado para o ICA/Procobre, denominado “Comparação de custo entre cabos isolados de baixa tensão em cobre e alumínio – Projeto de análise de ciclo de vida” [5] (disponível no site <http://leonardo-energy.org.br/>), pode-se observar que o custo total do ciclo de vida é menor para os cabos de cobre em relação aos cabos de alumínio – considerando-se os cabos, instalação, acessórios, manutenção, embalagem, transporte, manuseio e custos de armazenamento.

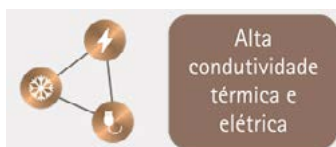
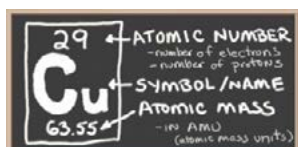


A simples redução do diâmetro calculado da seção transversal proporcionará uma redução na cadeia produtiva do cabo, nas proteções, no isolamento e em todas as fases subsequentes. Esta característica fará com que os custos de produção de cabos de cobre e de alumínio se aproximem. Isso poderá ser analisado também, mais adiante nesse guia, quando for discutido o cálculo do cabo elétrico para maior eficiência energética, que também pode ser pesquisado no artigo “Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos – DEAC” [6].

Atualmente, o cobre, quando reciclado, pode voltar ao mercado nas mais variadas formas e aplicações com alto grau de pureza e altíssimo valor agregado. Pode ser reutilizado tal como material oriundo da mineração.

A Tabela 1 indica o comparativo de algumas propriedades [7]:

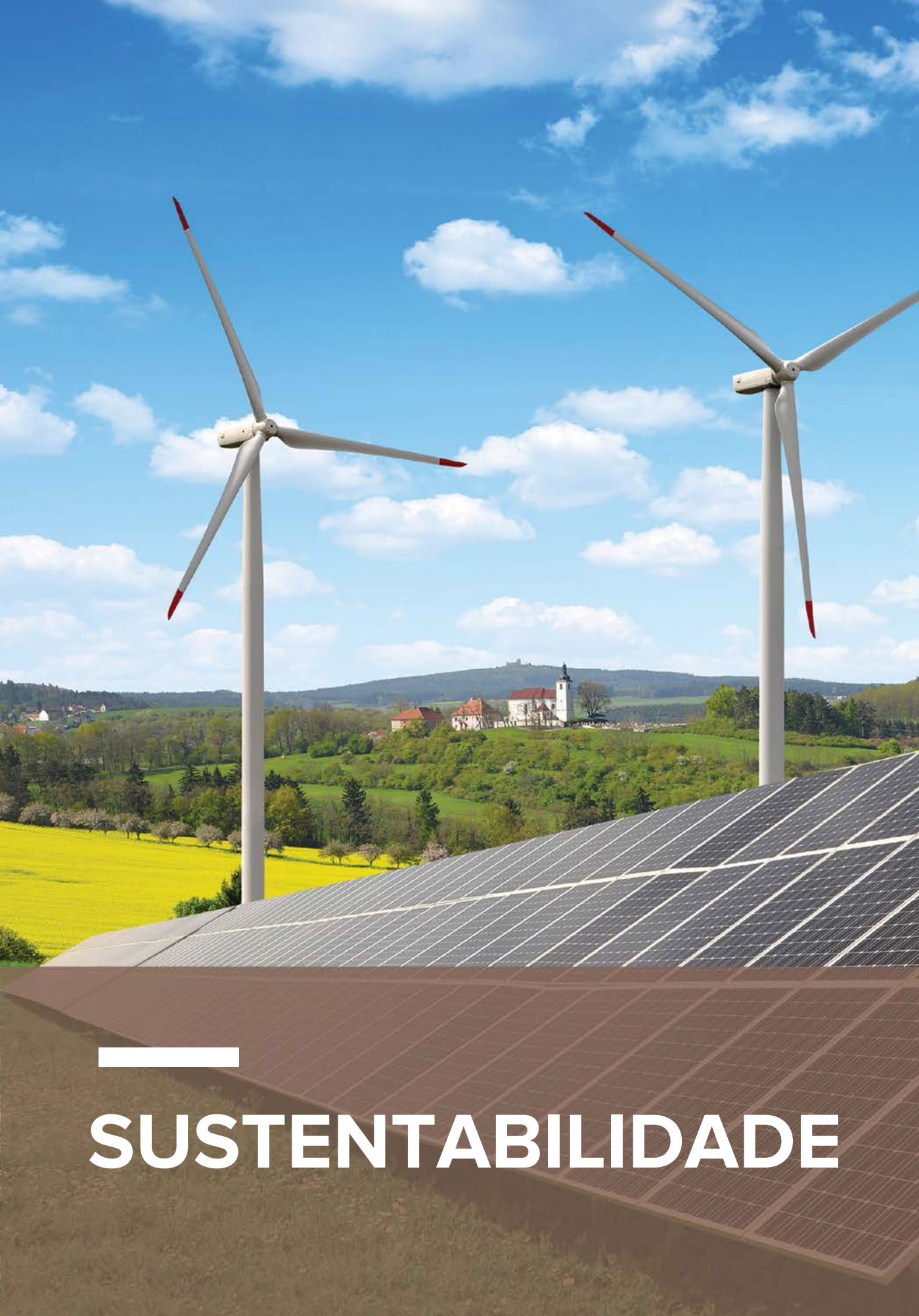
TABELA 1 - PROPRIEDADES				
	Cobre		Alumínio	
<b>Símbolo químico</b>	v		Al	
<b>Número atômico</b>	29	-	13	-
<b>Massa atômica</b>	63,546 u	-	26,981 u	-
<b>Densidade</b>	8,91 g/cm <sup>3</sup>	100 %	2,70 g/cm <sup>3</sup>	30 %
<b>Resistividade elétrica a 20 °C</b>	0,017241 x 10 <sup>-6</sup> Ωm	100 %	0,027 x 10 <sup>-6</sup> Ωm	157 %
<b>Condutividade térmica a 20 °C</b>	397 W/(m·K)	100 %	230 W/(m·K)	58 %
<b>Módulo de elasticidade</b>	118 MPa	100 %	70 MPa	59 %
<b>Coefficiente de expansão linear</b>	17 x 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>	100 %	23 x 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>	135 %
<b>Condutividade elétrica (%IACS)</b>		100 %		61 %
<b>Ponto de fusão</b>	1083 °C	100 %	660 °C	61 %
<b>Estrutura cristalina</b>	Cúbica de faces centradas	-	Cúbica de faces centradas	-
<b>Tensão de ruptura (material recozido)</b>	23 kgf/mm <sup>2</sup>	100 %	4,9 kgf/mm <sup>2</sup>	21 %
<b>Limite de escoamento (σ=0,2 %)</b>	7,0 kgf/mm <sup>2</sup>	100 %	1,3 kgf/mm <sup>2</sup>	19 %
<b>Calor específico</b>	385 J/kg°C	100 %	900 J/kg°C	234 %



De forma geral, a lista a seguir resume e destaca algumas das principais razões para a utilização de cabos elétricos de cobre:

- Melhor desempenho na avaliação do custo total considerando o ciclo de vida do cabo; [5] [6]
- Baixa resistência elétrica (menor perda e menor seção transversal);
- Maior capacidade de condução da corrente elétrica;
- Menor diâmetro, menor raio de curvatura e consequente facilidade no transporte (bobinas menores, frete e estoque reduzido);
- Conexões confiáveis (baixo coeficiente de expansão térmica e boa resistência ao *creep* - Fluência ou *Creep* é o alongamento sofrido ao longo do tempo em um material submetido a uma carga constante);
- Resistência à corrosão;
- Não reage com a água;
- Baixo grau de oxidação;\*
- Disponibilidade em seções (mm<sup>2</sup>) muito pequenas;
- Maior resistência mecânica;
- Maior flexibilidade;
- Facilidade na instalação e reparo;
- Permite a utilização de valas de instalação reduzidas e ferramentas menores.

\*Além de baixa oxidação, o óxido de cobre é condutor de eletricidade, ao contrário do óxido de alumínio que é isolante.



---

**SUSTENTABILIDADE**



---

## 4. SUSTENTABILIDADE

### 4.1 COBRE É ESSENCIAL PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL

Entende-se como energia com sustentabilidade a que é acessível, de baixo custo, limpa e mais eficiente, sendo, portanto, essencial para um desenvolvimento sustentável.

Um dos melhores condutores de eletricidade conhecidos, o cobre desempenha um importante papel no universo das energias renováveis. O baixo impacto ambiental desse metal e suas excelentes propriedades elétricas e térmicas, como já relatado, atendem perfeitamente às necessidades da energia limpa, gerando e transmitindo eletricidade com máxima eficiência e com um mínimo impacto ambiental.

Isso justifica a presença desse metal em vários equipamentos utilizados nas instalações de geração elétrica limpa, como os sistemas de aterramento, equipamentos de proteção, cabos elétricos, motores, geradores, transformadores e componentes elétricos e eletrônicos.



O cobre – essencial para um mundo sustentável – tem participação marcante em diversas aplicações, destacadas a seguir: [8]



- Área hospitalar: ambientes que se beneficiam por sua propriedade antimicrobiana;
- Aquecimento de água: o cobre tem ótima condutividade térmica e por isso é empregado nas placas dos coletores solares e no revestimento interno dos boilers;
- Aquicultura: propriedades metalúrgicas e biológicas naturais e longa vida útil;
- Ar condicionado: maiores coeficientes de transferência de calor e redução geral no custo do sistema;
- Arquitetura, arte e *design*: durabilidade, riqueza de qualidades mecânicas e estéticas;
- Energia: um dos melhores condutores de eletricidade e de calor. Amplamente empregado em redes de alta, média e baixa tensão. Essencial para o melhor desempenho de motores, transformadores e diversos equipamentos eletroeletrônicos. Está presente nas fontes de energia renovável: tecnologias de energia eólica e fotovoltaica;
- Instalações elétricas: devido à ótima condutividade do cobre, ele desempenha papel fundamental no desenvolvimento de aplicações elétricas e eletrônicas;
- Tecnologias modernas: um dos metais mais usados em sistemas de informática e telecomunicações, por suas características de condutividade, resistência e versatilidade;
- Tubulações para fluidos e gases: utilizado em diversos tipos de construções, sejam residenciais, comerciais ou industriais por sua confiabilidade e segurança.

## 4.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Atualmente a eletricidade é o fator que mais contribui para a emissão de gases de efeito estufa. Mais de 50 % das emissões de CO<sub>2</sub> são atribuídas ao consumo de eletricidade decorrente da geração de energia tendo como base a queima de combustíveis fósseis. [9]

A excelente capacidade do cobre em transportar a corrente elétrica ajuda a reduzir o consumo de energia, melhorando o desempenho de equipamentos elétricos, tornando-os mais eficientes, e reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub> para o meio ambiente.



Desta forma, a utilização do cobre:

- Melhora a qualidade do meio ambiente e do processo produtivo;
- Participa da preservação ambiental, na energia renovável e na redução da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera;
- Proporciona maior eficiência e ótima relação custo-benefício para equipamentos elétricos e seus sistemas elétricos;
- Afeta positivamente o dimensionamento econômico e ambiental das instalações elétricas.

A demanda por energia no planeta está crescendo em um ritmo acelerado, com os países em desenvolvimento superando nações industrializadas no crescimento do consumo de energia elétrica, situação em que a eficiência energética tem papel fundamental para que os países possam preservar seus recursos naturais, reduzindo de maneira significativa as emissões de gases de efeito estufa, diminuindo os custos e proporcionando às indústrias uma vantagem competitiva.



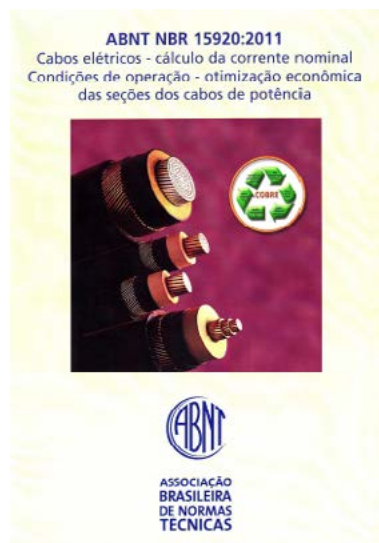
No universo dos cabos elétricos, o método tradicional de determinação da seção de um condutor elétrico é conhecido como “dimensionamento técnico”. Nesse método, são aplicados os requisitos das Normas ABNT NBR 5410 – “Instalações elétricas de baixa tensão” [10] e ABNT NBR 14039 – “Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV” [11].

É importante ressaltar que o dimensionamento técnico do condutor resulta na menor seção nominal possível que não comprometa a segurança, a qualidade e a durabilidade da instalação elétrica. Neste dimensionamento são considerados os seguintes critérios:

- Seção mínima do condutor;
- Capacidade de condução de corrente do condutor em regime permanente;
- Queda de tensão no condutor;
- Proteção do condutor contra sobrecarga;
- Proteção do condutor contra curto-circuito.

No entanto, quanto menor a seção do condutor, maior a sua resistência elétrica e maior a perda de energia (joule). Conseqüentemente, maior a emissão de CO<sub>2</sub>. Para reduzir estas emissões a valores insignificantes, faz-se necessário aumentar a seção do condutor.

Esse aumento de seção do condutor significa elevar o custo inicial do cabo e seus acessórios, sendo necessário encontrar um equilíbrio entre a “redução nas perdas” versus o “aumento do custo inicial da instalação” – processo que pode ser auxiliado com a aplicação dos critérios estabelecidos na Norma ABNT NBR 15920 – “Cabos elétricos – Cálculo da corrente nominal - Condições de operação – Otimização econômica das seções dos cabos de potência” [12].



Tal conceito parece simples, mas é mais abrangente do que aparenta, ponderá-lo é imprescindível no desenvolvimento de um futuro mais consciente e sustentável. Um caminho que contribui para economizar energia e preservar o meio ambiente.



Em função do exposto, pode-se concluir que a melhor ocasião para se observar a importância do dimensionamento econômico e ambiental de um condutor elétrico é a fase de implantação do projeto, na qual custos adicionais são menores e previsíveis.

A metodologia de cálculo que considera o dimensionamento ambiental dos cabos elétricos e o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> é apresentada na publicação do ICA/Procobre Brasil intitulada “Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos” [6] que está disponibilizada no site <http://leonardo-energy.org.br/>.

### 4.3 ENERGIA RENOVÁVEL

As reservas de combustíveis fósseis do mundo continuam se esgotando em meio às crescentes preocupações sobre as mudanças climáticas. O rápido crescimento populacional e o aumento dos padrões de vida estão levando as sociedades a desenvolverem fontes alternativas de energia que são renováveis, eficientes e econômicas, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub>.

A adoção de sistemas alternativos de geração de energia para redução de emissão de CO<sub>2</sub> é por si só um grande avanço, em termos de sustentabilidade, no entanto, para garantir um melhor resultado é necessário pensar no sistema como um todo. O uso do cobre para transmitir a energia gerada por sistemas eficientes e renováveis – sejam eles alimentados pelo sol (fotovoltaico), vento (eólico), água (hídrico) ou biomassa (queima de bagaço da cana, por exemplo) –, assegura a máxima eficiência e mínimo impacto ambiental no projeto.

**Cobre: conduzindo energia para um mundo sustentável.**

Um dos melhores condutores de eletricidade conhecidos, o cobre desempenha um importante papel no caminho das energias renováveis.

O baixo impacto ambiental do cobre metal e suas excelentes propriedades elétricas e térmicas permitem perfecionamento às necessidades da energia limpa.

**As principais fontes sustentáveis de energia que necessitam de cobre são:**

- Eólica (ação dos ventos)
- Fotovoltaica (sol)
- Hídrica (ondas hidráulicas)
- Biomassa (matéria orgânica de origem vegetal, animal ou humana)

O cobre está presente em vários equipamentos utilizados nas instalações de geração elétrica limpa, como os sistemas de armazenamento, equipamentos de proteção, fios e cabos, motores, geradores, transformadores e componentes elétricos e eletrônicos.

O funcionamento de uma turbina eólica de 2MW requer o uso de 5 a 12 toneladas de cobre.

A energia fotovoltaica resulta da transformação da luz solar em eletricidade.

Na geração fotovoltaica, uma instalação doméstica de 2,5kW pode consumir até 12kg de cobre.

**Vantagens da energia sustentável para a sociedade:**

- Reduz a emissão de CO<sub>2</sub>
- Naturalmente renováveis
- São menos poluentes

As energias renováveis, como a solar e a eólica, ajudam a combater o aquecimento da planeta, pois reduzem a emissão de gases de efeito estufa.

Um estudo do Greenpeace indica que as fontes renováveis podem suprir metade da demanda mundial de energia até 2050.

Em 2010, essas fontes já representavam 15,7% da matriz elétrica mundial.

Em 2012, as fontes limpas de energia receberam investimentos de US\$ 211 bilhões.

**O cobre é vital para que os sistemas de energias renováveis gerem e transmitam a eletricidade com máxima eficiência e mínimo impacto ambiental.**

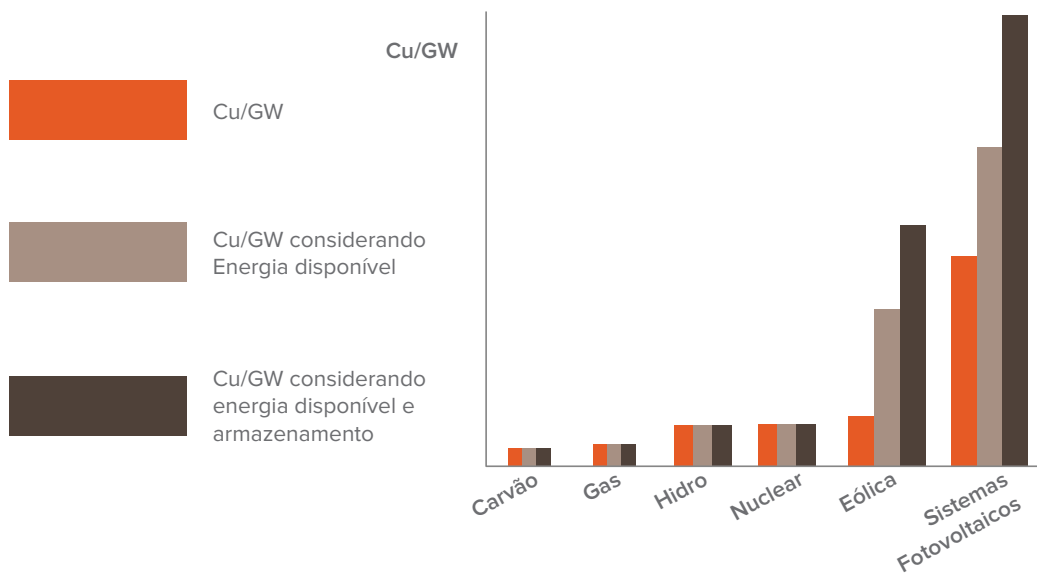


Investimentos importantes estão sendo realizados nesse sentido. Somente o setor de geração solar irá investir, até 2018, R\$ 12,5 bilhões na construção de projetos contratados entre 2013 e 2015, de acordo com as estimativas da Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR).

A energia solar fotovoltaica se tornou a fonte de energia mais instalada na Europa, onde cresceu 63 % em 2011, de acordo com a Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica. Neste processo da conversão da luz em eletricidade, o cobre é fator chave para o aumento da eficiência. [13]

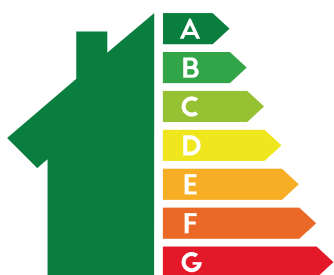
Portanto, em função de seus atributos, o cobre é material essencial para construir os sistemas de energia do futuro.

### O USO MUNDIAL DO COBRE REFINADO



## 4.4 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

As edificações sustentáveis, também conhecidas como construções verdes, “*Green Buildings*”, ao serem projetadas consideram o impacto econômico, social e ambiental e exigem *designers* e empreiteiros que saibam usar práticas construtivas que não causarão danos em longo prazo para o meio ambiente.



Edifícios sustentáveis são projetados para serem eficientes em termos energéticos, reduzirem a poluição e minimizarem o desperdício. A construção sustentável é uma tendência mundial, sem restrição de região geográfica, cresce em ritmo acelerado, uma vez que esse tipo de projeto é visto como oportunidade de negócio em longo prazo.

Nesse segmento de mercado também é válido analisar o papel que o cobre pode representar. Devido às suas propriedades intrínsecas, o cobre é amplamente utilizado no setor de construção civil. Destaca-se como opção para estruturas, reforços, revestimentos, coberturas, esquadrias, instalações elétricas, equipamentos de aquecimento e muitas outras aplicações.

O metal pode ser encontrado em prédios antigos e históricos, bem como na arquitetura nova e moderna. Em construções sustentáveis, as qualidades do cobre são úteis em uma variedade de aplicações, incluindo projetos de arquitetura, sistemas de eletrificação na construção, conversão de energias renováveis e de melhor utilização dos sistemas de energias eficientes.

As construções sustentáveis são identificadas por meio do selo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) que consiste em um sistema de pontuação utilizado para certificar um “*Green Building*”. A certificação assegura que a construção foi realizada utilizando conceitos da sustentabilidade. Existe um mito em torno do alto custo das construções sustentáveis, no entanto, nesse quesito vale considerar o retorno econômico a médio e longo prazo. Estima-se o aumento de custos em torno de 5 % a 10 % para obras comerciais e de 2 % a 4 % em obras residenciais.

Recomenda-se como literatura relacionada a este item a *webinar* “O Portal da Eficiência Energética - Construções Sustentáveis” no site do ICA/Procobre. [14]

## 4.5 RECICLAGEM



O cobre é 100 % reciclável e contribui de diversas formas para a sustentabilidade do planeta. Uma de suas características é a longa vida útil. São cerca de 9 milhões de toneladas de cobre reciclados anualmente, o que significa que 35 % da demanda global de cobre são utilizados na forma de metal reciclado. [15]

• Cobre: conduzindo energia para um mundo sustentável. •

An infographic titled 'Cobre: conduzindo energia para um mundo sustentável.' It features a central illustration of a house with a car in the garage. Various callouts provide information about copper's benefits in electrical systems. A globe is shown in the center, and a large number '10' is highlighted in a circle on the right side of the house.

Suas propriedades únicas tornam as instalações elétricas mais seguras, eficientes e duráveis.

Quando as instalações elétricas são bem dimensionadas e revisadas periodicamente, a segurança das pessoas e do imóvel aumenta significativamente.

10 A recomendação é que, no mínimo, a instalação passe por manutenções preventivas a cada dez anos.

Tanto a manutenção como os reparos devem sempre ser feitos por um profissional qualificado.

Assim como os automóveis, as instalações precisam de manutenções constantes para continuar funcionando adequadamente.

O cobre contribui para um mundo melhor.

Os condutores elétricos são fabricados com cobre eletrolítico de alta pureza (99,99%), o que garante a melhor condutividade elétrica. O cobre é capaz de transmitir energia com qualidade, apresentando baixo índice de perdas.

Fios e cabos de cobre são capazes de reduzir significativamente as perdas de energia contribuindo para a baixa emissão de CO<sub>2</sub>.

O cobre apresenta grande resistência à deformação e à corrosão, aumentando a vida útil e a segurança dos produtos aplicados nas instalações elétricas.

Atualmente o cobre está presente em diversos dispositivos, como os disjuntores, fusíveis, hastes de aterramento, transformadores, interruptores e tomadas.

Ter uma instalação segura é importante porque:

- Reduz a probabilidade de incêndios.
- Diminui os riscos de choques elétricos.
- Aumenta a proteção das pessoas e do patrimônio.

O cobre é um dos poucos materiais que podem ser reciclados várias vezes sem qualquer perda de desempenho, e outra grande vantagem do reaproveitamento do metal é que o processo de reciclagem do cobre consome 85 % menos energia do que a sua produção. Isso representa uma economia anual de 100 milhões de MWh de energia elétrica e de 40 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.



O crescimento das economias emergentes e um maior uso do cobre em tecnologias inovadoras aumentaram significativamente a demanda do metal. A recuperação e a reciclagem de cobre são importantes não só para satisfazer essa necessidade, mas também para conservar os recursos naturais para um futuro sustentável e para melhorar o desempenho dos produtos acabados.

Com base nos estoques globais de cobre e no modelo de fluxos (recentemente desenvolvido pelo Instituto *Fraunhofer*) estima-se que dois terços das 550 milhões de toneladas de cobre produzidas desde 1900 ainda estão em uso produtivo [15], sendo que:

- Aproximadamente 70 % são utilizados em aplicações elétricas;
- Cerca de 55 % são utilizados em construções, 15 % em infraestrutura, 10 % na indústria, 10 % em transporte e 10 % na fabricação de equipamentos.

Considerando a quantidade de cobre existente nas inúmeras aplicações encontradas atualmente, pode-se estimar que existe em circulação volume equivalente a 30 anos de demanda de cobre refinado, de modo que a sociedade atual pode ser chamada de “mina urbana”.

A procura crescente por cobre irá requerer uma combinação de matérias-primas provenientes das minas (primárias) e de materiais reciclados (secundários). Para a reciclagem ser eficaz, a inovação também é necessária no projeto inicial (facilita a recuperação ao final da vida útil), nos processos sociais (aumento da recuperação) ou nos processos de reciclagem industrial (aumento dos rendimentos globais). Em paralelo com o cobre primário, políticas regulatórias devem continuar a incentivar a recuperação e a reciclagem na indústria e em ações comunitárias. [16]



# SEGMENTO DE MERCADO

INDÚSTRIA DO CIMENTO

---

## 5. SEGMENTO DE MERCADO – INDÚSTRIA DO CIMENTO



Este guia será dedicado aos cabos elétricos desenvolvidos especialmente para o segmento da indústria cimenteira no Brasil. O Brasil é o quarto maior consumidor e o quinto maior produtor de cimento do mundo.

Embora esse segmento de mercado seja bastante amplo, e exija atenção especial para as instalações elétricas, o conteúdo do guia foi desenvolvido de forma a orientar o leitor sobre a escolha do cabo elétrico, bem como a especificação do produto para a correta cotação e aquisição.

O cimento é o produto nacional mais importante para a indústria da construção civil no país, presente desde a mais simples obra habitacional até a mais complexa obra de infraestrutura. O segmento é extremamente dependente dos investimentos do setor público, do poder de compra do setor privado, da disponibilidade de crédito e da renda real da população.

Grandes obras isoladas não impactam o consumo nacional do cimento. Uma obra como uma hidrelétrica, pode consumir 700 mil toneladas de cimento em sua construção, diluídas em 5 a 6 anos, praticamente não altera a produção nacional de mais de 90 milhões de toneladas por ano.

O cenário recessivo do segmento, devido à grave crise do setor da construção civil e ao aumento do custo da produção (energia elétrica e câmbio), estimula as empresas a racionalizar seus custos, processos e investimentos.

Em virtude de sua complexidade, uma unidade industrial leva de três a cinco anos para entrar em operação, fazendo com que o setor trabalhe com programações de longo prazo e atento à macroeconomia do país.

A indústria cimenteira requer grandes investimentos e está sujeita às pressões de custos, entre eles, as despesas de combustíveis e energia elétrica que representam mais de 50 % da formação do custo de produção de uma fábrica de cimento.

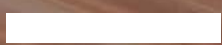


O cimento é um material cerâmico que, em contato com a água, produz uma reação exotérmica de cristalização, ganhando assim resistência mecânica. É o principal material da construção civil, considerado uma das mais importantes *commodities* mundiais, sendo até mesmo usado como indicador econômico.

As matérias-primas utilizadas para a produção do cimento são o carbonato de cálcio, a sílica, o alumínio e o minério de ferro, extraídos de rocha calcária ou argila. A seguir estão listadas as fases de produção do cimento:

- Obtenção da matéria-prima a partir da extração do calcário, normalmente em jazidas a céu aberto, areia e argila, principalmente pelo processo de detonação;
- Armazenamento em pátios das mineradoras para classificação da composição química do calcário (teores de cálcio, silício, ferro e alumínio), conhecidos como pré-homo;
- Britagem e peneiramento do calcário para obtenção de pedaços de granulometria inferior a 25 mm;
- Dosagem da mistura de calcário, argila e minério de ferro;
- Moagem da mistura das matérias-primas até serem transformadas em pó, em proporções definidas e denominadas de mistura crua (moinho de cru);
- Calcinação para se obter o clínquer, que é o material resultante do aquecimento a temperaturas em torno de 1450 °C da mistura base de materiais calcários argilosos;
- Resfriamento do clínquer para menos de 200 °C e liberação de vapores resfriados e filtrados para a atmosfera;
- Nova moagem, agora do clínquer, que com a adição de gesso e outros aditivos resultam no cimento;
- Material pronto segue para estocagem, acondicionado em sacos, granel ou *big bag's* é preparado para entrega.





# DEFINIÇÕES

DADOS CONSTRUTIVOS DO  
CABO ELÉTRICO

## 6. DEFINIÇÕES – DADOS CONSTRUTIVOS DO CABO ELÉTRICO

Antes de abordar os dados construtivos, será indicada a classificação das classes de tensão para os cabos elétricos isolados por se considerar essa, uma informação de interesse dos técnicos que atuam na área. É válido esclarecer que não há norma brasileira que defina esta classificação e, como consequência, o mercado do país apresenta algumas variações. Desta maneira, é apresentada a seguir uma orientação com boa representatividade no mercado:

### Corrente Alternada:

- **EBT (Extra Baixa Tensão):** Não superior a 50 V;
- **BT (Baixa Tensão):** Até 1 kV inclusive;
- **MT (Média Tensão):** Maior que 1 kV e até 35 kV inclusive;
- **AT (Alta Tensão):** 69 kV inclusive até 345 kV inclusive;
- **EAT (Extra Alta Tensão):** Acima de 345 kV e até 500 kV inclusive.

Cabe esclarecer que há projetos específicos nos quais se utilizam a classe de tensão 46 kV, que pode ser enquadrada como MT.

A seguir, como exemplo, está sendo indicada a imagem ilustrativa de um cabo de média tensão com as várias partes que o compõe.

1. Condutor

2. Blindagem do condutor

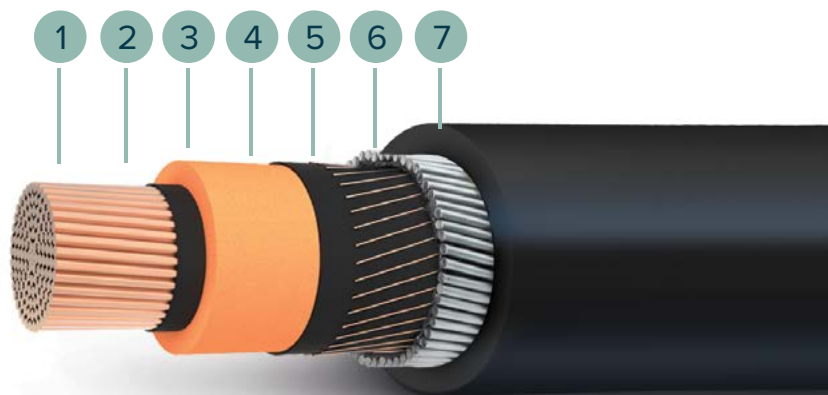
3. Isolação

4. Blindagem da isolação

5. Blindagem metálica

6. Armação

7. Cobertura



## 6.1 CONDUTOR



Foto: Carlos Piratininga

Condutores são os meios materiais que permitem facilmente a passagem de cargas elétricas. Metais como o cobre e alumínio são os escolhidos para tal finalidade tendo em vista seu custo e suas propriedades elétricas. Os condutores são subdivididos em fios e cabos e são encontrados em diferentes seções. Conforme a Norma ABNT NBR NM 280:2011, podem ser assim classificados:

- **Fio ou fio sólido:**



É o produto metálico formado por um único condutor rígido (monofilar), pouco flexível, o que faz com que ele tenha usos específicos. Recomenda-se observar a ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão. A denominação do fio sólido é: encordoamento Classe 1, segundo a ABNT NBR NM 280:2011.

- **Cabo:**

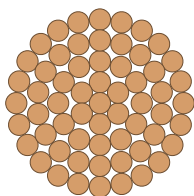


É o produto metálico formado por um conjunto de fios elementares encordoados (multifilar). A formação pode ser normal, compactada, comprimida ou composta por feixes (ou cochas). O efeito do encordoamento é aumentar a flexibilidade para facilitar o manuseio e a instalação.



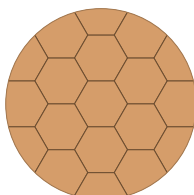
Nos condutores, os encordoamentos podem ter as seguintes configurações: [17] [18]

#### **Condutor encordoado circular não compactado:**



O condutor é formado por um único fio ou por duas ou mais camadas concêntricas de fios de mesmo diâmetro em torno de um fio central, sendo este conjunto chamado de corda.

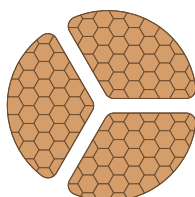
#### **Condutor encordoado circular compactado:**



Após a formação da corda ocorre sua compactação, que provoca substancial redução dos espaços vazios e conseqüentemente do diâmetro do conjunto. Como resultado desta compactação, os cabos isolados apresentam:

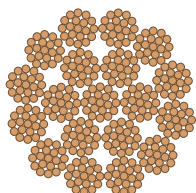
- Menor diâmetro final;
- Menor consumo de materiais isolantes e cobertura;
- Melhor aproveitamento na instalação em dutos;
- Menores raios de curvatura.

#### **Condutor setorial:**



Estas cordas são normalmente utilizadas em cabos multipolares com três ou quatro veias isoladas para a obtenção de um menor diâmetro.

### Condutor flexível:



O encordoamento composto é formado pela reunião de vários condutores previamente encordoados. Estes vários condutores encordoados são denominados de feixes (ou cochás). As cochás encordoadas constituirão um condutor composto.

Este tipo de encordoamento oferece excelente flexibilidade ao cabo, tornando-o adequado para uso em equipamentos com movimentação contínua durante o seu funcionamento.

A seguir são apresentadas algumas informações sobre as escalas AWG, MCM e a série métrica ( $\text{mm}^2$ ).

#### AWG:

A escala “*American Wire Gauge*” (escala americana normalizada) é uma progressão geométrica de diâmetros expressos em polegadas até a bitola 4/0 (0000). Para bitolas superiores ao 4/0 a unidade passa a ser o MCM. As relações aproximadas entre os diâmetros consecutivos da escala AWG é de 1,122 e entre as áreas consecutivas em  $\text{mm}^2$  é de 1,260.

#### kCM (MCM):

A escala “Mil Circular Mil” é a área de um círculo cujo diâmetro é de um milésimo de polegada, ou seja:

$$1 \text{ CM: } d = 0,0254 \text{ mm} \longrightarrow S = 0,000507 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ CM: } d = 0,001 \text{ pol.} \longrightarrow S = 0,7854 \text{ pol}^2$$

Uma vez que 1 circular mil (1 CM) é muito pequeno, utiliza-se o MCM ou kCM, ou seja, 1000 Circular Mil.

#### Série métrica:

A série métrica ( $\text{mm}^2$ ) passou a ser utilizada no Brasil após o ano de 1982, quando se adotou o padrão da série métrica da *International Electrotechnical Commission* (IEC). Ela é definida em função de resistência elétrica máxima, sendo que as seções padronizadas estabelecem um valor de resistência elétrica, não propriamente um valor de seção nominal.

Uma tabela de conversão entre os sistemas Métrico e AWG/MCM é apresentada a seguir:

TABELA 2 – TABELA DE CONVERSÃO AWG/Métrico ASTM F1883 - 03(2013)								
Seção mm <sup>2</sup>	Seção AWG/MCM	Seção Circ Mils	Ampacidade (A)	Resistência Ôhmica à 20 °C				
				Ohms por 1000 ft	Ohms por km (Ω/km)	Ohms por km (Ω/km) (ABNT NBR NM 280)		
						Classe 1	Classe 2	Classe 5
	2000	2 000 000	1155	0,0053	0,0177			
1000		1970 000	1145	0,0054	0,0176		0,0176	
	1750	1750 000	1070	0,0063	0,0199			
800		1580 000	1009	0,0067	0,0224		0,0221	
	1500	1500 000	980	0,0071	0,0232			
	1250	1250 000	890	0,0085	0,0278			
630		1240 000	886	0,0096	0,0286		0,0283	0,0287
	1000	1000 000	780	0,0106	0,0347			
500		987 000	772	0,0105	0,0369		0,0366	0,0384
400		789 000	675	0,0133	0,0475		0,047	0,0486
	750	750 000	655	0,0141	0,0463			
	600	600 000	575	0,0176	0,0578			
300		592 000	570	0,0211	0,0607		0,0601	0,0641
	500	500 000	515	0,0211	0,0694			
240		474 000	499	0,0219	0,0762		0,0754	0,0801
	400	400 000	455	0,0264	0,0867			
185		365 000	431	0,0286	0,1000		0,0991	0,106
	350	350 000	420	0,0302	0,0990			
	300	300 000	375	0,0353	0,1157			
150		296 000	372	0,0353	0,1260	0,124	0,124	0,129
	250	250 000	340	0,0423	0,1388			
120		237 000	327	0,0436	0,1540	0,153	0,153	0,161
	4/0	211 600	300	0,0500	0,1639			
95		187 000	265	0,0551	0,1950	0,193	0,193	0,206
	3/0	167 000	260	0,0631	0,2065			
70		138 000	230	0,0752	0,2700	0,268	0,268	0,272
	2/0	133 100	225	0,0794	0,2605			
	1/0	105 600	195	0,1002	0,3288			
50		98 700	185	0,1044	0,3910	0,387	0,387	0,386
	1	83 690	165	0,1261	0,4139			
35		69 100	144	0,1495	0,5290	0,524	0,524	0,554
	2	66 360	140	0,1588	0,5211			
	3	52 620	120	0,2005	0,6577			
25		49 300	115	0,2057	0,7340	0,727	0,727	0,78
	4	41 740	105	0,2528	0,8295			
16		31 600	89	0,3259	1,160	1,15	1,15	1,21
	6	26 240	80	0,4023	1,320			
10		19 700	63	0,5167	1,840	1,83	1,83	1,91
	8	16 510	55	0,6380	2,093			
6.0		11 800	43	0,8543	3,110	3,08	3,08	3,3
	10	10 380	40	1,017	3,335			
4.0		7 890	30	1,304	4,700	4,61	4,61	4,95
	12	6 530	25	1,620	5,315			
2.5		4 930	22	2,067	7,560	7,41	7,41	7,98
	14	4 110	20	2,573	8,442			
1.5		2 960		3,417	12,20	12,1	12,1	13,3
	16	2 580		4,020	13,19			
1.0		1 970		5,213	18,20	18,1	18,1	19,5
0.90		1 773		6,45	21,10			
	18	1 620		6,82	20,95			
0.80		1 576		6,52	21,40			
0.75		1 480		6,82	24,80	24,5	24,5	26
0.60		1 182		9,5	31,16			
	20	1 020		10,5	34,45			
0.50		987		11,4	36,70	36	36	39
	22	640		16,9	55,44			
0.20		404		26,7	87,60			
	24	253		43,6	143,04			

## 6.2 TÊMPERA

Considerando-se as características mecânicas, o cobre pode ser classificado em três categorias de têmpera:

- Mole (ou recozido);
- Meio duro;
- Duro.

O cobre com a têmpera mole apresenta menor resistividade elétrica, enquanto a têmpera dura tem uma maior resistência mecânica à tração. O cobre mole é recomendável para aplicação geral em cabos elétricos isolados ou não, para a qual se deseja alta condutividade elétrica e flexibilidade.

O processo de trefilação do fio de cobre, cujo diâmetro é sucessivamente reduzido através de feiras, enrijece a estrutura e reduz a ductilidade (capacidade de deformação) do material.



Fotos cedidas por: Niehoff-Herborn Máquinas

O cobre permite que essa característica seja revertida mediante um processo chamado de recozimento, no qual o tratamento térmico adequado restabelece as características originais.

## 6.3 CLASSE DE ENCORDAMENTO

Os condutores podem ser reunidos de diversas formas e com fios que diferem em diâmetros e têmperas. Devido a isso, normas específicas determinam esse processo de reunião para formação do condutor elétrico:

- **ABNT NBR NM 280** – Condutores de cabos isolados;
- **ABNT NBR 5349** – Cabos nus de cobre mole para fins elétricos – Especificação.

Uma das formas de classificar o cabo é a classe de encordoamento, definida pela flexibilidade. Os condutores de cobre têm cinco classes de encordoamento, a saber:

- Classe 1: Condutores sólidos circulares (fios);



- Classe 2: Condutores encordoados circulares, compactados ou não;



- Classes 4(\*), 5 e 6: Condutores flexíveis.



(\*) O condutor classe 4 foi eliminado da Norma IEC (*International Electrotechnical Commission*), mas continua sendo de uso frequente nos países do MERCOSUL (Anexo B – Tabela 4 da Norma ABNT NBR NM 280:2011).

Como exemplo da formação de um condutor para as várias classes de encordoamento existentes, segue Tabela 3 com a seção 10 mm<sup>2</sup>:

TABELA 3		
Condutor - seção 10 mm <sup>2</sup>		
Classe 1		1/3,50
Classe 2	Normal	7/1,35
	Compacto	7 fios
Classe 5		7 x 15/0,35
Classe 6		12 x 27/0,20

As medidas da Tabela 3 se referem ao número de fios/diâmetro dos fios elementares em milímetros. Por exemplo, para a classe 6 são 12 cochas, cada uma sendo formada por 27 fios de 0,20 mm de diâmetro, totalizando 324 fios de 0,20 mm de diâmetro. Vale esclarecer que para as classes flexíveis (acima da classe 4, inclusive) o número de fios elementares pode variar dependendo do fabricante, uma vez que a respectiva norma não define a quantidade de fios, especificando apenas a resistência elétrica máxima do condutor e o diâmetro máximo dos fios elementares.

**TABELA 4 – NORMA ABNT NBR 5349**

<b>Cabos de classe de encordoamento 2</b>				
<b>Seção Nominal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Número de fios</b>		<b>Resistência elétrica máxima, em c.c., a 20 °C Ω/km</b>	
	<b>Cabo Não Compactado</b>	<b>Cabo Compactado</b>	<b>Fios Nus</b>	<b>Fios Revestidos</b>
0,5	7	-	36	36,7
0,75	7	-	24,5	24,8
1	7	-	18,1	18,2
1,5	7	6	12,1	12,2
2,5	7	6	7,41	7,56
4	7	6	4,61	4,7
6	7	6	3,08	3,11
10	7	6	1,83	1,84
16	7	6	1,15	1,16
25	7	6	0,727	0,734
35	7	6	0,524	0,529
50	19	6	0,387	0,391
70	19	12	0,268	0,27
95	19	15	0,193	0,195
120	37	18	0,153	0,154
150	37	18	0,124	0,126
185	37	30	0,0991	0,1
240	61	34	0,0754	0,0762
300	61	34	0,0601	0,0607
400	61	53	0,047	0,0475
500	61	53	0,0366	0,0369
630	91	53	0,0283	0,0286
800	91	53	0,0221	0,0224
1000	91	53	0,0176	0,0177
1200	- 2)	- 2)	0,0151	0,0151
1400 <sup>1)</sup>	- 2)	- 2)	0,0129	0,0129
1600	- 2)	- 2)	0,0113	0,0113
1800 <sup>1)</sup>	- 2)	- 2)	0,0101	0,0101
2000	- 2)	- 2)	0,009	0,009

<sup>1)</sup> Seções não recomendadas.

<sup>2)</sup> Número mínimo de fios não especificado.

De acordo com norma ABNT NBR 5349:1997

**TABELA 5 – NORMA ABNT NBR 5349**

<b>Cabos de classe de encordoamento 4, 5 e 6</b>					
<b>Seção Nominal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Diâmetro máximo dos fios (mm)</b>			<b>Resistência elétrica máxima, em cc., a 20 °C (Ω/km)</b>	
	<b>Classe 4</b>	<b>Classe 5</b>	<b>Classe 6</b>	<b>Fios Nus</b>	<b>Fios Revestidos</b>
0,5	0,31	0,21	0,16	39	40,1
0,75	0,31	0,21	0,16	26	26,7
1	0,31	0,21	0,16	19,5	20
1,5	0,41	0,26	0,16	13,3	13,7
2,5	0,41	0,26	0,16	7,98	8,21
4	0,51	0,31	0,16	4,95	5,09
6	0,51	0,31	0,21	3,3	3,39
10	0,51	0,41	0,21	1,91	1,95
16	0,61	0,41	0,21	1,21	1,24
25	0,61	0,41	0,21	0,78	0,795
35	0,68	0,41	0,21	0,554	0,565
50	0,68	0,41	0,31	0,386	0,393
70	0,68	0,51	0,31	0,272	0,277
95	0,68	0,51	0,31	0,206	0,21
120	0,68	0,51	0,31	0,161	0,164
150	0,86	0,51	0,31	0,129	0,132
185	0,86	0,51	0,41	0,106	0,108
240	0,86	0,51	0,41	0,0801	0,0817
300	0,86	0,51	0,41	0,0641	0,0654
400	0,86	0,51	-1)	0,0486	0,0495
500	0,86	0,61	-1)	0,0384	0,0391
630	-2)	0,61	-2)	0,0287	0,0292

1) Seções não especificadas para a classe de encordoamento 6.  
2) Seção não especificada para as classes de encordoamento 4 e 6  
De acordo com Norma ABNT NBR 5349:1997

## 6.4 BLINDAGEM DO CONDUTOR

A blindagem do condutor é constituída por materiais condutores não metálicos, normalmente chamados semicondutores. Ela tem como principal finalidade dar uma forma perfeitamente cilíndrica ao condutor e eliminar espaços vazios entre o condutor e a isolação.

Quando um condutor encordoado de um cabo de média ou alta tensão não possui um recobrimento com material condutor, o campo elétrico formado pela passagem de corrente elétrica assume uma forma distorcida, acompanhando a superfície do condutor e provocando concentração de esforços elétricos em determinados pontos da isolação. Em tais condições, as solicitações elétricas concentradas podem exceder os limites permissíveis pela isolação, resultando em uma depreciação na vida do cabo.

No caso de cabos com isolação sólida, o ar entre o condutor e o isolante – formado durante o processo de extrusão da isolação – será ionizado pela ação do campo elétrico, no qual ocorrerão descargas parciais que irão danificar o isolante até a sua perfuração.

## 6.5 ISOLAÇÃO

Isolação é o material ou conjunto de materiais isolantes aplicados sobre o condutor para isolá-lo eletricamente do ambiente onde está instalado.

As seguintes características são determinantes para os materiais isolantes:

- Elevada rigidez dielétrica (\*);
- Baixas perdas dielétricas – ou seja, menores valores para o produto “Fator de Dissipação” pela “Constante Dielétrica”;
- Fácil dissipação de calor – ou seja, baixa resistividade térmica;
- Estabilidade térmica em regime de longa duração, de curta duração e em condições transitórias de curto circuito;
- Estabilidade das propriedades elétricas quando em contato com a água. Resistência ao fenômeno *water treeing*;
- Resistência ao envelhecimento nas condições de gradiente elétrico – temperatura operacional;
- Flexibilidade, principalmente em equipamentos e máquinas móveis.

(\*) Mediante solicitações a 60 Hz e de impulso, tais como descargas atmosféricas e surtos de manobra.

Os materiais isolantes do tipo sólido (extrudados) são classificados como termoplásticos e termofixos, com temperaturas de operação conforme Tabela 6:



TABELA 6				
Categoria	Material da isolação	Operação em regime contínuo	Operação em sobrecarga	Operação em curto-circuito
Termoplásticos	PVC ≤ 300 mm <sup>2</sup>	70 °C	100 °C	160 °C
	PVC > 300 mm <sup>2</sup>	70 °C	100 °C	140 °C
	PE	70 °C	90 °C	130 °C (*)
Termofixos	XLPE	90 °C	130 °C	250 °C
	EPR e HEPR	90 °C	130 °C	250 °C
	EPR 105	105 °C	140 °C	250 °C

(\*) 150 °C, desde que seja utilizada uma blindagem do condutor adequada, como por exemplo, por meio de acréscimo na espessura da blindagem do condutor ou de combinação de fita têxtil semicondutora com camada extrudada.

Os materiais termofixos, uma vez processados, adquirem sua forma final com características irreversíveis. Já os compostos termoplásticos, embora processados e transformados em sua forma definitiva como isolação, podem ser deformados ou reprocessados mediante aplicação de uma fonte de calor. Simplificando: os isolantes termoplásticos amolecem com o aumento da temperatura e os isolantes termofixos não amolecem com o aumento da temperatura.

Os tipos de materiais utilizados como isolamento são os seguintes:

- **Termoplásticos:**

- Policloreto de vinila (PVC);
- Polietileno (PE);
- Polietileno de alta densidade (HDPE);
- Polietileno de baixa densidade (LDPE);
- EVA;
- Poliamida (Nylon®);
- Elastômero termoplástico (TPE).

- **Termofixos:**

- Polietileno reticulado (XLPE);
- Borracha etileno-propileno (EPR);
- Borracha de silicone.

Nota:

“EPR” é uma denominação genérica que significa qualquer borracha que contenha etileno e propileno. No mercado existem algumas variações da borracha EPR utilizada como material isolante em cabos elétricos, por exemplo, EPR 105 e HEPR. [21]

TABELA 7		
Nomenclatura	Tipo de isolação	Nota
EPR	Borracha etileno-propileno	Temperatura de operação 90 °C.
EPR 105	Borracha etileno-propileno de alto módulo	Temperatura de operação 105 °C. Tensão de ruptura duas vezes superior ao EPR. Alongamento de 150 % contra 200 % do EPR. Este composto é utilizado para a produção de cabos com isolação coordenada (isolação com espessura reduzida).
HEPR	Borracha etileno-propileno de alto módulo	Temperatura de operação 90 °C. Tensão de ruptura duas vezes superior ao EPR. Alongamento de 150 % contra 200 % do EPR. Este composto é utilizado para a produção de cabos com isolação coordenada (isolação com espessura reduzida).

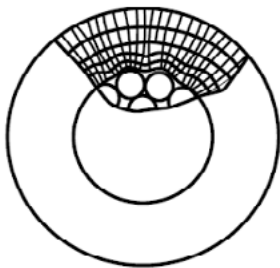
Tabela comparativa com as características das principais isolações:

TABELA 8			
Categoria	Material da isolação	Pontos Fortes	Pontos Regulares e Fracos
Termoplásticos	PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Boas propriedades mecânicas e elétricas</li> <li>Não propagante de chama e auto extingüível quando aditivado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixo índice de estabilidade térmica</li> <li>Baixa estabilidade em água</li> <li>Regular flexibilidade</li> </ul>
	PE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excelentes propriedades mecânicas e elétricas</li> <li>Alto índice de impermeabilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixo ponto de fusão</li> <li>Baixa flexibilidade</li> <li>Fácil combustão</li> </ul>
Termofixos	XLPE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excelentes propriedades elétricas</li> <li>Boa resistência térmica</li> <li>Alto grau de pureza</li> <li>Bom desempenho após o envelhecimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa flexibilidade</li> <li>Baixa resistência à chama</li> <li>Regular estabilidade em água</li> </ul>
	EPR e EPR 105	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excelentes propriedades elétricas</li> <li>Boa resistência térmica</li> <li>Alta flexibilidade</li> <li>Resistência total ao ozônio</li> <li>Ótima estabilidade em água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa resistência mecânica</li> <li>Baixa resistência a óleos</li> <li>Baixa resistência à chama</li> </ul>

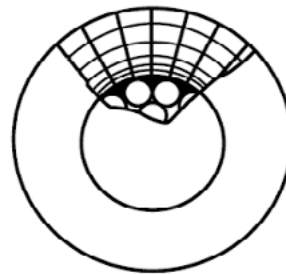
## 6.6 BLINDAGEM DA ISOLAÇÃO

A função principal da blindagem da isolação é propiciar uma distribuição radial e simétrica de campo elétrico fazendo com que o dielétrico seja uniformemente solicitado.

Da mesma forma que a blindagem do condutor, a blindagem da isolação – para ser efetiva – deverá manter um perfeito contato com a superfície externa da isolação, eliminando, assim, a possibilidade de bolhas de ar, que dariam lugar às descargas parciais. A blindagem da isolação proporciona também uma capacitância uniforme entre o condutor e a terra, o que representa uma impedância característica ( $Z_0$ ) uniforme ao longo do cabo, evitando pontos com grande concentração de linhas de campo, o que acarreta um melhor desempenho perante as solicitações de impulso.

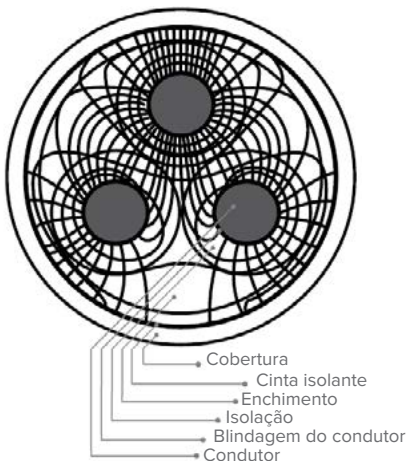


Condutor sem Blindagem

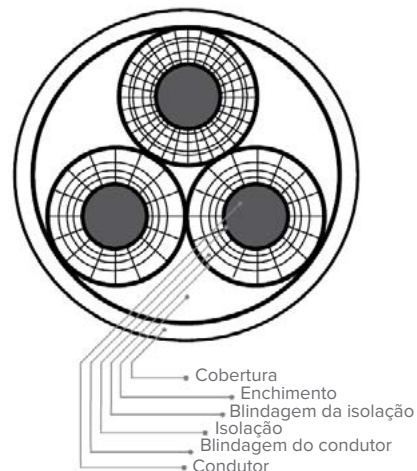


Condutor com Blindagem

A blindagem da isolação é constituída por uma camada de material condutor não metálico (camada semicondutora) que, além de uniformizar o campo elétrico, possui condutância suficiente para o transporte das correntes de fuga e capacitivas. A blindagem metálica sobre esta camada semicondutora é efetuada helicoidalmente por meio de fitas e/ou fios de cobre que têm a função de transporte de correntes induzidas ou de curto-circuito. [17]



Isolação sem Blindagem

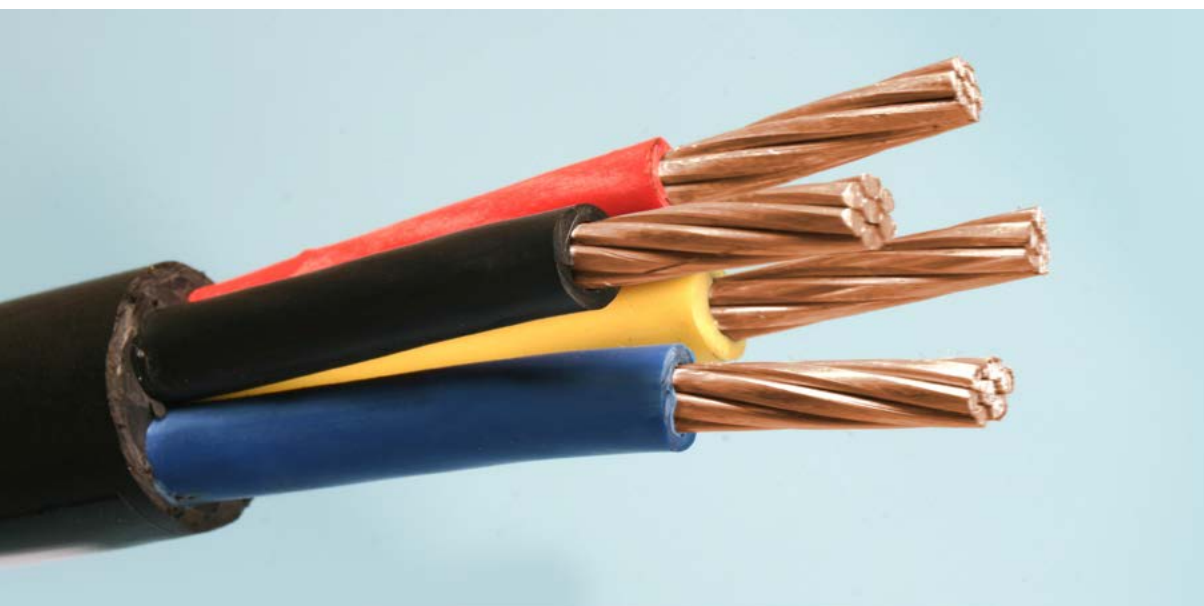


Isolação com Blindagem

A blindagem elétrica de um cabo pode proporcionar diferentes funções:

- Confinar o campo elétrico em cabos de controle, instrumentação, telecomunicações e transmissão de dados, controlando as características de transmissão de sinais (impedância, atenuação);
- Reduzir a interferência eletromagnética de um circuito em outro, causada por campos elétricos e/ou magnéticos;
- Confinar o campo elétrico em cabos de energia por motivos de segurança (a blindagem da isolação devidamente aterrada reduz a zero o campo externo, evitando choques);
- Servir de caminho para correntes de curto-circuito em cabos isolados de média e alta tensão.

## 6.7 CABOS MULTIPOLARES



Cabos multipolares são constituídos de dois ou mais condutores isolados, sobre os quais é aplicada uma cobertura, formando-se um único cabo. Cada um dos condutores isolados, que constituem o cabo multipolar, é denominado “veia”. Condutores com 2, 3 ou 4 veias são chamados, respectivamente: bipolar, tripolar ou tetrapolar. Por conseguinte, os cabos formados por 1 veia são denominados: cabos unipolares.

## 6.8 ARMAÇÃO

Elemento destinado à proteção contra esforços mecânicos, de tração, compressão ou usos específicos. A armação pode ser metálica ou formada por compostos especiais que possam satisfazer as necessidades e condições para uso em aplicações especiais.

Os vários tipos de armações são:

- **Fios de aço galvanizado, cobre ou bronze:** confere resistência aos esforços de tração;
- **Fitas de aço galvanizado, cobre ou alumínio planas:** confere resistência aos esforços radiais;
- **Fitas de aço galvanizado, cobre ou alumínio corrugado e intertravada (*interlocked*):** confere maior resistência aos esforços radiais e maior flexibilidade que as fitas planas;
- **Outras:** armação com trança de fios de aço ou cobre, armação de chumbo ou liga de chumbo.

A armação pode ser utilizada para proteger mecanicamente o cabo elétrico das mais variadas formas, dependendo do tipo de produto e sua aplicação final.

Este elemento construtivo pode ser aplicado nas fases internas do cabo, desde a proteção dos condutores isolados até a proteção externa do cabo, dependendo de sua aplicação.

Cabe informar que, no caso de cabos unipolares (também denominados como “singelos”), para se evitar perdas elétricas adicionais, são empregados materiais não magnéticos, ou seja, fitas ou fios de cobre, bronze ou alumínio. As armações com material ferromagnético (aço) somente poderão ser utilizadas em cabos tripolares, os quais, devido às defasagens da corrente elétrica entre as fases do circuito de corrente alternada, não irão gerar as citadas perdas elétricas.

## 6.9 COBERTURA

Revestimento externo de proteção ao cabo como um todo. A cobertura será definida mediante os requisitos especiais de utilização e desempenho do cabo.

Os materiais utilizados na cobertura são dotados de características específicas que compreendem, desde uma simples proteção mecânica (a fim de facilitar instalações, proteção permanente e garantia de preservação do produto), até produtos de alta tecnologia, que protegem o cabo e lhe conferem características especiais.

As seguintes características são determinantes para os materiais de cobertura:

- Resistência à abrasão, rasgo, corte e impacto;
- Impermeabilidade;
- Inflamabilidade;
- Baixa emissão de fumaça, gases tóxicos e ácidos durante eventual queima;
- Estabilidade térmica;
- Resistência a agentes químicos e ambientais;
- Flexibilidade.

Temperatura máxima em regime permanente em função do tipo da cobertura:

COBERTURA	TEMPERATURA MÁXIMA NO CONDUTOR
ST1	80 °C
ST2	105 °C
ST3	80 °C (*)
ST7	105 °C
SE1/A e SE1/B	90 °C (**)

(\*) 85 °C para cabos com tensões de isolamento iguais ou superiores a 6/10 kV.

(\*\*) 85 °C para cabos com coberturas SE1/B e tensões de isolamento inferiores a 6/10 kV.

Os compostos termoplásticos para as coberturas são:

<b>ST1</b>	Composto à base de policloreto de vinila ou copolímero de cloreto de vinila, para temperatura no condutor menor ou igual a 80 °C
<b>ST2</b>	Composto à base de policloreto de vinila ou copolímero de cloreto de vinila e acetato de vinila, para temperatura no condutor menor ou igual a 105 °C
<b>ST3</b>	Composto à base de polietileno termoplástico para temperatura no condutor menor ou igual a 80 °C, para cabos com tensões de isolamento inferiores a 6/10 kV, e menor ou igual a 85 °C, para cabos com tensões de isolamento iguais ou superiores a 6/10 kV
<b>ST7</b>	Composto à base de polietileno termoplástico para temperatura no condutor menor ou igual a 90 °C, para cabos com tensões de isolamento inferiores a 6/10 kV, e menor ou igual a 105 °C, para cabos com tensões de isolamento iguais ou superiores a 6/10 kV

Nota:

Para os compostos ST3 e ST7, a temperatura máxima no condutor em regime de sobrecarga deve ser limitada a 115 °C e 130 °C, respectivamente. Entretanto, em função do tipo e condições de instalação do cabo e/ou da tensão de isolamento, pode ser necessário estabelecer limites inferiores aos indicados.

Os compostos termofixos para as coberturas são:

<b>SE1/A</b>	Composto à base de policloropreno, polietileno clorossulfonado, polietileno clorado ou polímeros similares, para temperaturas no condutor menores ou iguais a 90 °C e para cabos com qualquer tensão de isolamento
<b>SE1/B</b>	Composto à base de policloropreno, polietileno clorossulfonado, polietileno clorado ou polímeros similares, para temperatura no condutor menor ou igual a 85 °C, para cabos com tensões de isolamento inferiores a 6/10 kV e menor ou igual a 90 °C, para cabos com tensões de isolamento iguais ou superiores a 6/10 kV

Nota:

Não se recomenda o emprego de compostos do tipo ST1, ST2, SE1/A ou SE1/B para cabos com construção bloqueada longitudinalmente, a menos que estes possuam construção bloqueada transversalmente.

Estão listadas a seguir as coberturas mais utilizadas no mercado: [17]

- **Termoplástica**

- Policloreto de vinila (PVC);
- Polietileno (PE) e (HDPE);
- Poliuretano;
- Polipropileno (PP);
- Poliamidas (PA);
- Poliolefinas não halogenadas com baixa emissão de fumaça e de gases tóxicos (SHF).

- **Termofixa**

- Polietileno clorossulfonado (CSP) - Hypalon;
- Policloropreno (PCP) – Neoprene;
- Polietileno Clorado (CPE).

- **Metálica**

- Chumbo.

### **Comportamento dos cabos elétricos quando expostos ao fogo:**

Durante a ocorrência de incêndio, um cabo elétrico pode ser um elemento propagador de fogo devido aos vários tipos de compostos utilizados em sua isolação e cobertura, e podem ser assim classificados:

- **Cabo propagador de chama:** quando for submetido a uma ação direta da chama, por um curto intervalo de tempo, ele entrará em combustão e manterá a chama mesmo após ela ser retirada;

- **Cabo não propagador de chama:** a chama não se propaga e irá se autoextinguir quando acabar a causa que a gerou;
- **Cabo resistente à chama:** a chama não se propaga e irá se autoextinguir mesmo mediante exposição prolongada. Esta característica é comprovada pelo “Ensaio de Queima Vertical” conforme as séries da norma ABNT NBR NM – IEC 60332;
- **Cabo resistente ao fogo:** mesmo na presença do incêndio o cabo continua operando e mantendo o circuito energizado conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 10301, que estabelece 3 horas de operação sob exposição à chama direta (750 °C).

#### Características relativas às chamas de alguns compostos:

TABELA 9	
Propagador de chama	Poliétileno termoplástico – PE
Não propagador de chama	Policloreto de vinila – PVC
Resistente à chama	Polioléfina não halogenada e PVC aditivado
Resistente ao fogo	Compostos especiais

Vale ressaltar requisitos importantes dos cabos elétricos, quando submetidos ao fogo: baixa emissão de fumaça e gases tóxicos (halógenos), principalmente em locais de alta concentração de pessoas como, por exemplo, metrô, *shopping centers*, teatros, hospitais, cinemas, escolas, prédios comerciais e residenciais. O composto que confere esta característica é denominado de “poliolefínico não halogenado”.





## 6.10 COMENTÁRIOS PRÁTICOS

Para efeito de instalação dos cabos, dois aspectos serão determinantes na escolha do produto ideal: o raio mínimo de curvatura e a tensão máxima de puxamento.

### **Raio mínimo de curvatura**

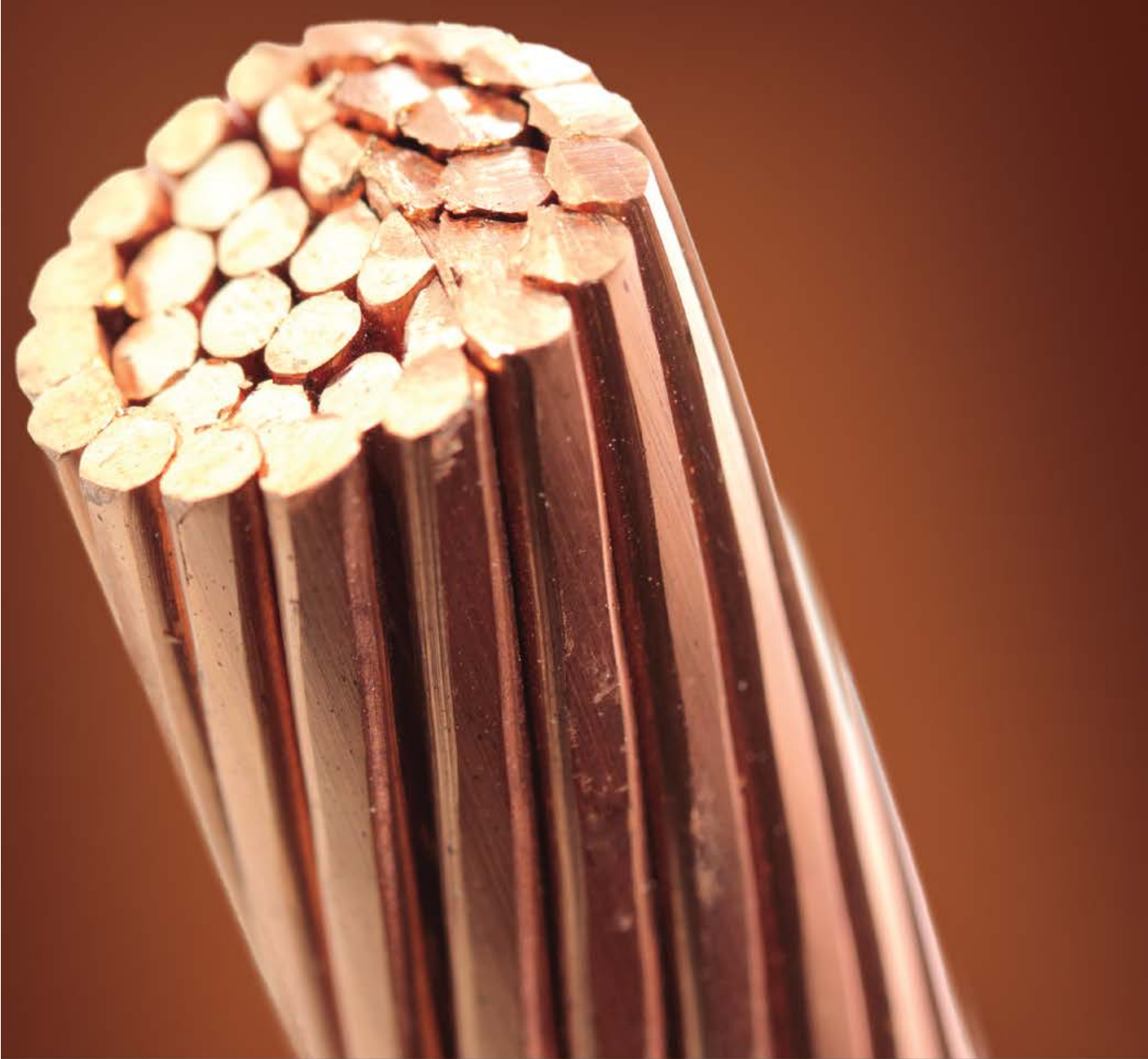
Cada fabricante especifica os próprios limites para esta característica, sendo que o raio mínimo de curvatura é obtido multiplicando-se o diâmetro externo do cabo pelo fator especificado pelo fornecedor.

$$R_{\text{Min. de Curvatura}} = D_{\text{ext}} \times K \text{ (fator do fornecedor)}$$

Este fator pode variar, porém os fabricantes adotam o fator de 8 x diâmetro para cabos sem blindagem e de 10 até 21 x diâmetro para cabos com blindagens metálicas.

### **Tensão máxima de puxamento**

Os valores recomendados também podem variar de acordo com cada fabricante, porém recomenda-se tracionar pelo condutor e não exceder o limite de 7 kgf/mm<sup>2</sup> e quando tracionado pela capa, utilizar camisa de puxamento adotando-se o mesmo limite indicado para o condutor. Recomenda-se o uso de roletes e cavaletes apropriados, que podem ser motorizados para bobinas de maior porte, porém não devem exceder 500 kgf no puxamento.



# DIMENSIONAMENTO

COMO DIMENSIONAR O CABO

---

## 7. DIMENSIONAMENTO COMO DIMENSIONAR O CABO

Neste guia, voltado ao segmento da **Indústria do Cimento**, foi adotado o dimensionamento de cabos aplicados para baixa tensão.

Esta escolha foi definida devido à frequência de uso destes produtos nas instalações elétricas desse setor.

Outras Normas são relacionadas com o dimensionamento de cabos elétricos, tais como a ABNT NBR 11301 – “Cálculo de capacidade de condução de corrente de cabos isolados em regime permanente”. [20]

### 7.1. DIMENSIONAMENTO TÉCNICO

Para o dimensionamento técnico de um circuito de baixa tensão, devem-se aplicar as prescrições da Norma ABNT NBR 5410:2004 [10], com as quais se determina a seção do condutor ideal para atender à solicitação de projeto.

Os critérios técnicos básicos desta Norma são:

- Seção nominal mínima do condutor;
- Capacidade de condução de corrente;
- Limites de queda de tensão no condutor;
- Dispositivos de proteção de sobrecarga e curto-circuito;
- Proteção contra os choques elétricos (quando aplicável);
- Dimensionamento dos cabos em circuitos com correntes harmônicas (quando aplicável).

Os cálculos apresentados a seguir são a base para o dimensionamento de um circuito. Para exemplificar os cálculos necessários serão apresentados dados e tabelas.

Outras considerações não abordadas neste guia podem ser esclarecidas em consulta às Normas citadas.

## 7.1.1. Seção Nominal Mínima do Condutor

### 7.1.1.1. Seção do Condutor Fase

A seção dos condutores fase, em circuitos de corrente alternada, e dos condutores vivos, em circuitos de corrente contínua, não deve ser inferior ao valor pertinente apontado na Tabela 10.

TABELA 10			
Seção mínima dos condutores <sup>1)</sup>			
Tipo de Linha		Utilização do Circuito	Seção mínima do condutor em cobre (mm <sup>2</sup> )
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuito de iluminação	1,5
		Circuito de força <sup>2)</sup>	2,5
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 <sup>3)</sup>
	Condutores nus	Circuitos de força	10
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 <sup>4)</sup>
		Circuitos de extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75
<p><sup>1)</sup> Seções mínimas ditadas por razões mecânicas.</p> <p><sup>2)</sup> Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.</p> <p><sup>3)</sup> Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm<sup>2</sup>.</p> <p><sup>4)</sup> Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm<sup>2</sup>.</p> <p>De acordo com a Tabela 47 – ABNT NBR 5410:2004 [10]</p>			

### 7.1.1.2. Seção do Condutor Neutro

O condutor neutro deve possuir, no mínimo, a mesma seção dos condutores fase nos seguintes casos:

- Circuitos monofásicos e bifásicos;
- Circuitos trifásicos cuja seção do condutor fase for igual ou inferior a 25 mm<sup>2</sup>;
- Circuitos trifásicos nos quais ondas harmônicas são previstas.

Em circuitos trifásicos, é permitida a redução da seção do condutor neutro, nos casos em que as condições a seguir são simultaneamente atendidas:

- Seção do neutro for no mínimo igual a 25 mm<sup>2</sup>;
- A máxima corrente admissível seja inferior à capacidade de corrente do condutor neutro com seção reduzida;
- O condutor neutro deve ser protegido contra sobrecorrentes.

Nestes casos, a seção do condutor deve atender às especificações da Tabela 11:

TABELA 11	
Seção dos condutores Fase (mm <sup>2</sup> )	Seção reduzida do condutor neutro (mm <sup>2</sup> ) <sup>1)</sup>
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

1) As condições de utilização desta tabela são específicas para circuitos trifásicos em condições determinadas. De acordo com a Tabela 48 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

### 7.1.1.3. Seção do Condutor de Proteção

A Norma ABNT NBR 5410:2004 recomenda a utilização de condutores de proteção (PE) em condutores isolados, cabos unipolares ou veias de cabos multipolares. A Tabela 12 identifica a seção mínima do condutor de proteção em função da seção dos condutores fase do circuito. Ele deve ser identificado pela isolação na cor verde-amarela.

Em alguns casos, admite-se a utilização do condutor com a função dupla de neutro e proteção, condutor PEN (PE+N), cuja seção mínima é 10 mm<sup>2</sup> para cabo unipolar ou condutor isolado e 4 mm<sup>2</sup> para veia de cabo multipolar. Deverá ser identificado pela isolação na cor azul claro com identificação por anilhas na cor verde-amarela nos pontos visíveis ou acessíveis, tais como caixas de passagem ou quadros de distribuição.

<b>TABELA 12</b>	
<b>Seção mínima do condutor de proteção</b>	
Seção dos condutores de fase S (mm <sup>2</sup> )	Seção mínima do condutor de proteção correspondente (mm <sup>2</sup> )
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2
1,5	1,5 (mínima)
2,5	2,5
4	4
6	6
10	10
16	16
25	16
35	16
50	25
70	35
95	50
120	70
150	95
185	95
240	120
300	150
400	240
500	240
630	400
800	400
1000	500
De acordo com a Tabela 58 – ABNT NBR 5410:2004 [10]	

## 7.1.2. Capacidade de Condução de Corrente

O correto dimensionamento da capacidade de condução de corrente garante uma vida satisfatória aos condutores e isolações submetidos aos efeitos térmicos produzidos pela circulação das correntes elétricas durante a vida útil do cabo.

A capacidade de condução de corrente do circuito será obtida pela fórmula a seguir, na qual serão considerados todos os fatores de correção descritos nas tabelas, determinando uma corrente fictícia do circuito  $I'_{\max}$ :

$$I'_{\max} = I_{\max} / (f_1 \times f_2 \times f_3)$$

De acordo com o item 6.2.5.1.2 da ABNT NBR 5410:2004, os “métodos de referência” (citados nas tabelas a seguir) são os métodos de instalação, indicados na IEC 60364-5-52, para os quais a capacidade de condução de corrente foi determinada por ensaio ou por cálculo. São eles:

- **A1:** condutores isolados em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;
- **A2:** cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;
- **B1:** condutores isolados em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- **B2:** cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- **C:** cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede de madeira;
- **D:** cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo;
- **E:** cabo multipolar ao ar livre;
- **F:** cabos unipolares justapostos (na horizontal, na vertical ou em trifólio) ao ar livre;
- **G:** cabos unipolares espaçados ao ar livre.

A corrente transportada por qualquer condutor, durante períodos prolongados em funcionamento normal, deve ser tal que a temperatura máxima para serviço contínuo não ultrapasse os valores descritos a seguir:

TABELA 13			
Tipo de isolação	Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor) °C	Temperatura limite de sobrecarga (condutor) °C	Temperatura limite de curto-circuito (condutor) °C
Policloreto de vinila (PVC) até 300 mm <sup>2</sup>	70	100	160
Policloreto de vinila (PVC) maior que 300 mm <sup>2</sup>	70	100	140
Borracha etileno-propileno (EPR)	90	130	250
Poliétileno reticulado (XLPE)	90	130	250

De acordo com a Tabela 35 – ABNT NBR 5410:2004 [10]



**TABELA 14**

Seções nominais dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Capacidade de condução de corrente em ampères (A) para os métodos de referências indicados Condutor de Cobre Isolação em PVC Temperatura do condutor: 70 °C Temperatura de referência do ambiente: 30 °C (Ar), 20 °C (Solo)											
	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)
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1000	767	679	698	618	1012	906	827	738	1125	996	792	652

De acordo com a Tabela 36 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

**TABELA 15**

Seções nominais dos condutores (mm²)	Capacidade de condução de corrente em ampères (A) para os métodos de referências indicados Condutor de Cobre Isolação em EPR ou XLPE Temperatura do condutor: 90 °C Temperatura de referência do ambiente: 30 °C (Ar), 20 °C (Solo)											
	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)
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
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1122	923	711	596
800	885	792	805	721	1158	1020	952	837	1311	1074	811	679
1000	1014	908	923	826	1332	1173	1088	957	1515	1237	916	767

De acordo com a Tabela 37 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

**TABELA 16**

Seções nominais dos condutores (mm²)	Capacidade de condução de corrente em ampères (A) para os métodos de referências indicados Condutor de Cobre Isolação em PVC Temperatura do condutor: 70 °C Temperatura de referência do ambiente: 30 °C						
	Cabos multipolares		Cabos Unipolares <sup>1)</sup>				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores Carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
						Horizontal	Vertical
Método E	Método E	Método F	Método F	Método F	Método G	Método G	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0,5	11	9	11	8	9	12	10
0,75	14	12	14	11	11	16	13
1	17	14	17	13	14	19	16
1,5	22	18,5	22	17	18	24	21
2,5	30	25	31	24	25	34	29
4	40	34	41	33	34	45	39
6	51	43	53	43	45	59	51
10	70	60	73	60	63	81	71
16	94	80	99	82	85	110	97
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	715	597	754	656	689	852	795
500	826	689	868	749	789	982	920
630	958	798	1005	855	905	1138	1070
800	1118	930	1169	971	1119	1325	1251
1000	1292	1073	1346	1079	1296	1528	1448

<sup>1)</sup> Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir.  
- "De": Diâmetro Externo do condutor.

De acordo com a Tabela 38 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

**TABELA 17**

Seções nominais dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Capacidade de condução de corrente em ampères (A) para os métodos de referências indicados Condutor de Cobre Isolação em EPR ou XLPE Temperatura do condutor: 90 °C Temperatura de referência do ambiente: 30 °C						
	Cabos multipolares		Cabos Unipolares <sup>1)</sup>				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores Carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
						Horizontal	Vertical
	Método E	Método E	Método F	Método F	Método F	Método G	Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0,5	13	12	13	10	10	15	12
0,75	17	15	17	13	14	19	16
1	21	18	21	16	17	23	19
1,5	26	23	27	21	22	30	25
2,5	36	32	37	29	30	41	35
4	49	42	50	40	42	56	48
6	63	54	65	53	55	73	63
10	86	75	90	74	77	101	88
16	115	100	121	101	105	137	120
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	892	745	940	823	868	1085	1008
500	1030	859	1083	946	998	1253	1169
630	1196	995	1254	1088	1151	1454	1362
800	1396	1159	1460	1252	1328	1696	1595
1000	1613	1336	1683	1420	1511	1958	1849

<sup>1)</sup> Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir.  
- "De": Diâmetro Externo do condutor.

De acordo com a Tabela 39 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

### 71.3. Limites de Queda de Tensão

A fórmula seguinte visa determinar a queda de tensão a ser utilizada nas tabelas dos fabricantes de cabos elétricos.

$$Z_c = \Delta U / (I_{\max} \times \ell) \text{ sendo, } \Delta U = V \times (\% \text{ de queda de tensão máxima admitida})$$

Onde:

$Z_c$  – Queda de tensão em V/A.km

$\Delta U$  – Limite de queda de tensão em V

$I_{\max}$  – Corrente máxima em A

$\ell$  – Comprimento do circuito em km

$V$  – Tensão do circuito em V

Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos valores descritos a seguir, calculados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

- a. 7 %, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- b. 7 %, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- c. 5 %, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- d. 7 %, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.

Notas:

1. Estes limites de queda de tensão são válidos quando a tensão nominal dos equipamentos de utilização previstos for coincidente com a tensão nominal da instalação.
2. Nos casos das alíneas a, b e d, quando as linhas principais da instalação tiverem um comprimento superior a 100 m, as quedas de tensão podem ser aumentadas de 0,005 % por metro de linha superior a 100 m, sem que, no entanto, essa suplementação seja superior a 0,5 %.
3. Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4 %.
4. Quedas de tensão maiores que as indicadas são permitidas para equipamentos com corrente de partida elevada, durante o período de partida, desde que dentro dos limites permitidos em suas normas respectivas.
5. Para o cálculo da queda de tensão num circuito deve ser utilizada a corrente de projeto do circuito.



**TABELA 18**

**Queda de Tensão em V/A.km**

Seções nominais (mm <sup>2</sup> )	Cabos isolados em PVC e Instalação ao ar livre <sup>(C)</sup>																	
	Cabos unipolares														Cabos unipolares e bipolares Circuito monofásico <sup>(B)</sup>	Cabos tri e tetrapolares Circuito trifásico		
	Circuito monofásico						Circuito trifásico						Circuito trifásico <sup>(B)</sup>					
	S=10 cm		S=20 cm		S=2D		S=10 cm		S=20 cm		S=2D		FP		FP		FP	
	FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP	
	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95
1,5	23,6	27,8	23,7	27,8	23,4	27,6	20,5	24,0	20,5	24,1	20,3	24,0	20,2	23,9	23,3	27,6	20,2	23,9
2,5	24,6	17,1	14,7	17,1	14,4	17,0	12,7	14,8	12,7	14,8	12,5	14,7	12,4	14,7	14,3	16,9	12,4	14,7
4	9,3	10,7	9,3	10,7	9,1	10,6	8,0	9,3	8,1	9,3	7,9	9,2	7,8	9,2	9,0	10,6	7,8	9,1
6	6,3	7,2	6,4	7,2	6,1	7,1	5,5	6,3	5,5	6,3	5,3	6,2	5,2	6,1	6,0	7,1	5,2	6,1
10	3,9	4,4	3,9	4,4	3,7	4,3	3,4	3,8	3,4	3,8	3,2	3,7	3,2	3,7	3,6	4,2	3,1	3,7
16	2,6	2,8	2,6	2,8	2,4	2,7	2,2	2,4	2,3	2,5	2,1	2,4	2,0	2,3	2,3	2,7	2,0	2,3
25	1,73	1,83	1,80	1,86	1,55	1,76	1,52	1,59	1,57	1,62	1,40	1,53	1,32	1,49	1,50	1,71	1,31	1,48
35	1,33	1,36	1,39	1,39	1,20	1,29	1,17	1,19	1,22	1,22	1,06	1,13	0,98	1,09	1,12	1,25	0,97	1,08
50	1,05	1,04	1,11	1,07	0,93	0,97	0,93	0,91	0,98	0,94	0,82	0,85	0,75	0,82	0,85	0,93	0,74	0,81
70	0,81	0,76	0,87	0,80	0,70	0,71	0,72	0,67	0,77	0,70	0,63	0,62	0,55	0,59	0,62	0,67	0,54	0,58
95	0,65	0,59	0,71	0,62	0,56	0,54	0,58	0,52	0,64	0,55	0,50	0,47	0,43	0,44	0,48	0,50	0,42	0,43
120	0,57	0,49	0,63	0,52	0,48	0,44	0,51	0,43	0,56	0,46	0,43	0,39	0,36	0,36	0,40	0,41	0,35	0,35
150	0,50	0,42	0,56	0,45	0,42	0,38	0,45	0,37	0,51	0,40	0,38	0,34	0,31	0,30	0,35	0,34	0,30	0,30
185	0,44	0,36	0,51	0,39	0,37	0,32	0,40	0,32	0,46	0,35	0,34	0,29	0,27	0,25	0,30	0,29	0,26	0,25
240	0,39	0,30	0,45	0,33	0,33	0,27	0,35	0,27	0,41	0,30	0,30	0,24	0,23	0,21	0,26	0,24	0,22	0,20
300	0,35	0,26	0,41	0,29	0,30	0,23	0,32	0,23	0,37	0,26	0,28	0,21	0,21	0,18	0,23	0,20	0,20	0,18
400	0,32	0,22	0,37	0,26	0,27	0,21	0,29	0,20	0,34	0,23	0,25	0,19	0,19	0,15	-	-	-	-
500	0,28	0,20	0,34	0,23	0,25	0,18	0,26	0,18	0,32	0,21	0,24	0,17	0,17	0,14	-	-	-	-
630	0,26	0,17	0,32	0,21	0,24	0,16	0,24	0,16	0,29	0,19	0,22	0,15	0,16	0,12	-	-	-	-
800	0,23	0,15	0,29	0,18	0,22	0,15	0,22	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,15	0,11	-	-	-	-
1000	0,21	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,20	0,13	0,25	0,16	0,20	0,13	0,14	0,10	-	-	-	-

**Notas:**

A) Os Valores da tabela admitem uma temperatura de 70 °C

B) Válido para instalação em eletroduto não magnético e diretamente enterrado.

C) Aplicável à fixação direta a parede ou teto, eletrocalha aberta, ventilada ou fechada, espaço de construção, bandeja, prateleiras, suportes e sobre isoladores;

D) FP – Fator de potência do circuito;

E) S - Distância entre circuitos;

F) D – Diâmetro do Cabo.

Tabela orientativa, fornecida pelo fabricante.

Seguir tabela do fabricante eleito para fornecimento do cabo.

**TABELA 19**

Queda de Tensão em V/A.km																			
Seções nominais (mm <sup>2</sup> )	Cabos isolados em EPR ou XLPE e Instalação ao ar livre <sup>(c)</sup>																		
	Cabos unipolares														Cabos unipolares e bipolares Circuito monofásico <sup>(b)</sup>	Cabos tri e tetrapolares Circuito trifásico			
	Circuito monofásico						Circuito trifásico						Circuito trifásico <sup>(b)</sup>						
	S=10 cm		S=20 cm		S=2D		S=10 cm		S=20 cm		S=2D								
	FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP		
	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80
1,5	23,8	28,0	23,9	28,0	23,6	27,9	20,7	24,3	20,5	24,1	20,4	24,1	20,4	24,1	23,5	27,8	20,3	24,1	
2,5	14,9	17,4	15,0	17,5	14,7	17,3	12,9	15,1	13,0	15,1	12,8	15,0	12,7	15,0	14,6	17,3	12,7	15,0	
4	9,4	10,9	9,5	10,9	9,2	10,8	8,2	9,5	8,2	9,5	8,0	9,4	7,9	9,3	9,1	10,8	7,9	9,3	
6	6,4	7,3	6,4	7,3	6,2	7,2	5,5	6,3	5,6	6,3	5,4	6,2	5,3	6,2	6,1	7,1	5,3	6,2	
10	3,9	4,4	4,0	4,4	3,7	4,3	3,4	3,8	3,5	3,8	3,3	3,7	3,2	3,7	3,6	4,2	3,2	3,7	
16	2,58	2,83	2,64	2,86	2,42	2,74	2,25	2,46	2,31	2,48	2,12	2,39	2,05	2,35	2,34	2,70	2,03	2,34	
25	1,74	1,85	1,8	1,88	1,61	1,77	1,53	1,61	1,58	1,64	1,41	1,55	1,34	1,51	1,52	1,73	1,32	1,50	
35	1,34	1,37	1,40	1,41	1,21	1,30	1,18	1,20	1,23	1,23	1,06	1,14	0,99	1,10	1,15	1,26	0,98	1,09	
50	1,06	1,05	1,12	1,09	0,94	0,99	0,94	0,92	0,99	0,95	0,83	0,87	0,76	0,83	0,86	0,95	0,75	0,82	
70	0,81	0,77	0,88	0,80	0,70	0,71	0,72	0,68	0,78	0,70	0,63	0,63	0,56	0,59	0,63	0,67	0,54	0,58	
95	0,66	0,59	0,72	0,62	0,56	0,54	0,59	0,52	0,64	0,55	0,50	0,48	0,43	0,44	0,48	0,50	0,42	0,44	
120	0,57	0,49	0,63	0,53	0,48	0,45	0,51	0,44	0,56	0,46	0,43	0,40	0,36	0,36	0,40	0,41	0,35	0,35	
150	0,50	0,42	0,57	0,46	0,42	0,38	0,45	0,38	0,51	0,41	0,39	0,34	0,32	0,31	0,35	0,35	0,30	0,30	
185	0,44	0,36	0,51	0,39	0,38	0,32	0,40	0,32	0,46	0,35	0,34	0,29	0,27	0,26	0,30	0,29	0,26	0,25	
240	0,39	0,30	0,45	0,33	0,33	0,27	0,35	0,27	0,41	0,30	0,30	0,24	0,23	0,21	0,26	0,24	0,22	0,21	
300	0,35	0,26	0,41	0,29	0,30	0,24	0,32	0,24	0,37	0,26	0,28	0,21	0,21	0,18	0,23	0,20	0,20	0,18	
400	0,31	0,23	0,38	0,26	0,27	0,21	0,29	0,21	0,34	0,23	0,25	0,19	0,19	0,16	-	-	-	-	
500	0,28	0,20	0,34	0,23	0,25	0,18	0,26	0,18	0,32	0,21	0,24	0,17	0,17	0,14	-	-	-	-	
630	0,26	1,17	0,32	0,21	0,24	0,16	0,24	1,60	0,29	0,19	0,22	0,15	0,16	0,12	-	-	-	-	
800	0,23	0,15	0,29	0,18	0,22	0,15	0,22	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,15	0,11	-	-	-	-	
1000	0,21	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,21	0,13	0,25	0,16	0,20	0,13	0,14	0,10	-	-	-	-	

**Notas:**

A) Os Valores da tabela admitem uma temperatura de 90 °C

B) Válido para instalação em eletroduto não magnético e diretamente enterrado.

C) Aplicável à fixação direta a parede ou teto, eletrocalha aberta, ventilada ou fechada, espaço de construção, bandeja, prateleiras, suportes e sobre isoladores;

D) FP – Fator de potência do circuito;

E) S - Distância entre circuitos;

F) D – Diâmetro do Cabo.

Tabela orientativa, fornecida pelo fabricante.

Seguir tabela do fabricante eleito para fornecimento do cabo.

### 7.1.4. Fator de Correção para Temperatura Ambiente

É indicada a aplicação de fatores de correção nos seguintes casos: para temperaturas ambientes diferentes de 30 °C em linhas não subterrâneas e para temperaturas do solo diferentes de 20 °C, em linhas subterrâneas:

<b>TABELA 20</b>		
<b>Temperatura °C</b>	<b>Isolação</b>	
	PVC	EPR ou XLPE
<b>Do Ambiente</b>		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41
<b>Do solo</b>		
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

De acordo com a Tabela 40 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

### 7.1.5. Fator de Correção da Resistividade Térmica do Solo

Nas tabelas 15 e 16, os valores atribuídos para a capacidade de condução de corrente em linhas subterrâneas são válidos para a resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W.

Quando a resistividade térmica do solo for superior a este valor (como é o caso de solos muito secos), os valores indicados devem ser adequadamente reduzidos, exceto quando o solo na vizinhança imediata dos cabos elétricos seja substituído por terra, ou material equivalente, com dissipação térmica mais favorável. A Tabela 21 fornece fatores de correção para resistividades térmicas do solo diferentes de 2,5 K.m/W.

Notas:

1. O valor de 2,5 K.m/W é o recomendado pela IEC quando o tipo de solo e a localização geográfica não são especificados.
2. Os valores de capacidade de condução de corrente, indicados nas tabelas do item 7.1.2 para linhas subterrâneas, referem-se apenas a percursos no interior ou em torno das edificações. Para outras instalações, quando for possível conhecer valores mais precisos da resistividade térmica do solo, em função da carga, os valores de capacidade de condução de corrente podem ser calculados pelos métodos especificados na ABNT NBR 11301.

TABELA 21				
Fatores de correção para linhas subterrâneas em solo com resistividade térmica diferente de 2,5 K.m/W				
Resistividade térmica K.m/W	1	1,5	2	3
Fator de correção	1,18	1,1	1,05	0,96
<b>Notas</b>  1) Os fatores de correção dados são valores médios para as seções nominais abrangidas nas tabelas 14 e 15, com uma dispersão geralmente inferior a 5 %.  2) Os fatores de correção são aplicáveis a cabos em eletrodutos enterrados a uma profundidade de até 0,8 m.  3) Os fatores de correção para cabos diretamente enterrados são mais elevados para resistividades térmicas inferiores a 2,5 K.m/W e podem ser calculados pelos métodos indicados na ABNT NBR 11301.  De acordo com a Tabela 41 – ABNT NBR 5410:2004 [10]				

## 7.1.6. Fator de Correção para Agrupamento de Circuitos

**TABELA 22**

Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe (em linhas abertas ou fechadas) e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única														
Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	14 a 17 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				14 e 15 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				16 e 17 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

**Notas**

- Esses fatores são aplicáveis a grupos homogêneos de cabos, uniformemente carregados.
- Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução.
- O número de circuitos ou de cabos com o qual se consulta a tabela refere-se à quantidade de grupos de dois ou três condutores isolados ou cabos unipolares, cada grupo constituindo um circuito (supondo-se um só condutor por fase, isto é, sem condutores em paralelo), e/ou à quantidade de cabos multipolares que compõe o agrupamento, qualquer que seja essa composição (só condutores isolados, só cabos unipolares, só cabos multipolares ou qualquer combinação).
- Se o agrupamento for constituído, ao mesmo tempo, de cabos bipolares e tripolares, deve-se considerar o número total de cabos como sendo o número de circuitos e, de posse do fator de agrupamento resultante, a determinação das capacidades de condução de corrente, nas tabelas 14 a 17, deve ser então efetuada:
  - Na coluna de dois condutores carregados, para os cabos bipolares;
  - Na coluna de três condutores carregados, para os cabos tripolares.
- Um agrupamento com N condutores isolados, ou N cabos unipolares, pode ser considerado composto tanto de N/2 circuitos com dois condutores carregados quanto de N/3 circuitos com três condutores carregados.
- Os valores indicados são médios para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5 %.

De acordo com a Tabela 42 – ABNT NBR 5410:2004 [10]



**TABELA 23**

Fatores de correção aplicáveis a agrupamentos consistindo em mais de uma camada de condutores - Métodos de referência C (tabelas 14 e 15), E e F (tabelas 16 e 17)

		Quantidade de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada				
		2	3	4 ou 5	6 a 8	9 e mais
Quantidade de Camadas	2	0,68	0,62	0,60	0,58	0,56
	3	0,62	0,57	0,55	0,53	0,51
	4 ou 5	0,60	0,55	0,52	0,51	0,49
	6 a 8	0,58	0,53	0,51	0,49	0,48
	9 e mais	0,56	0,51	0,49	0,48	0,46

**Notas**

1. Os fatores são válidos independentemente da disposição da camada, se horizontal ou vertical.
2. Sobre condutores agrupados em uma única camada, ver tabela 22 (linhas 2 a 5 da tabela).
3. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

De acordo com a Tabela 43 – ABNT NBR 5410/2004 [10]

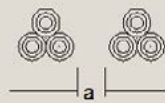
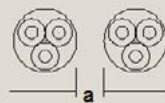
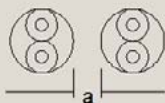
**TABELA 24**

Fatores de agrupamento para mais de um circuito - Cabos unipolares ou cabos multipolares diretamente enterrados

Número de circuitos	Distâncias entre cabos (a)				
	Nula	Um diâmetro de cabo	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

Cabos multipolares

Cabos unipolares



**Notas**

Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as dimensões de cabos abrangidas nas tabelas 14 e 15. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até ± 10 % em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

De acordo com a Tabela 44 – ABNT NBR 5410/2004 [10]

**TABELA 25**

**Fatores de agrupamento para linhas em eletrodutos enterrados<sup>1)</sup>**

Número de circuitos	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,80

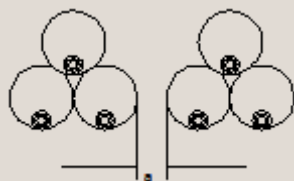
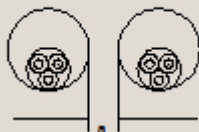
Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos <sup>2)</sup> Um condutor por eletroduto

Número de circuitos (grupos de dois ou três condutores)	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

(a)

Cabos multipolares

Cabos unipolares



1. Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as seções de condutores constantes nas tabelas 14 e 15. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até  $\pm 10\%$  em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

2. Deve-se atentar para as restrições e problemas que envolvem o uso de condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos metálicos quando se tem um único condutor por eletroduto.

De acordo com a Tabela 45 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

### **7.1.7. Dispositivos de Proteção**

Dispositivos de proteção são capazes de prover simultaneamente proteção contra correntes de sobrecarga e de curto-circuito. Esses dispositivos devem ser capazes de interromper qualquer sobrecorrente inferior ou igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que o dispositivo for instalado.

Só se admite um dispositivo com capacidade de interrupção inferior, se houver, a montante\*, outro dispositivo com a capacidade de interrupção necessária.

(\*) “a montante” significa “o circuito acima”.

#### **Tais dispositivos podem ser:**

- Disjuntores conforme ABNT NBR 5361, ABNT NBR IEC 60947-2, ABNT NBR NM 60898 ou IEC 61009-2.1;
- Dispositivos fusíveis tipo gG, conforme ABNT NBR IEC 60269-1 e ABNT NBR IEC 60269-2 ou ABNT NBR IEC 60269-3;
- Disjuntores associados a dispositivos fusíveis, conforme ABNT NBR IEC 60947-2, ABNT NBR NM 60898 ou ABNT NBR 5410:2004.

Geralmente, dispositivos capazes de prover apenas proteção contra as correntes de sobrecarga têm por característica atuação a tempo inverso, e podem apresentar uma capacidade de interrupção inferior à corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação. Devem satisfazer às prescrições de 5.3.4 da ABNT NBR 5410:2004.

Dispositivos capazes de prover apenas proteção contra as correntes de curto-circuito podem ser utilizados quando a proteção contra sobrecargas for provida por outros meios, ou nos casos em que se admite omitir a proteção contra sobrecargas. Esses dispositivos devem poder interromper qualquer corrente de curto-circuito inferior ou igual à corrente de curto-circuito presumida.

#### **Podem ser empregados:**

- Disjuntores conforme ABNT NBR 5361, ABNT NBR IEC 60947-2, ABNT NBR NM 60898 ou IEC 61009-2.1;
- Dispositivos fusíveis com fusíveis tipo gG, gM ou aM, conforme ABNT NBR IEC 60269-1 e ABNT NBR IEC 60269-2 ou ABNT NBR IEC 60269-3.

## 7.2. EXEMPLO DE CABO PARA A INDÚSTRIA DO CIMENTO

Após os conceitos e tabelas apresentados no item 7.1, serão mostrados os cálculos considerando um exemplo de cabo elétrico para o segmento da Indústria do Cimento.

Nesse caso, será utilizado um cabo padrão de mercado para uso em baixa tensão, com as seguintes propriedades:

- Interligação do quadro de acionamento a equipamento de uso industrial;
- Classe de encordoamento 5;
- Isolação termoplástica em PVC (70 °C);
- A ser instalado em canaleta fechada embutida no piso.

**Áreas de aplicação:** Esse cabo pode atender a diversas aplicações na indústria do cimento e mineração, tais como acionamento de motores em geral, compressores, peneiras, vibradores e esteiras. Podem ainda ser usados em aplicações específicas quando dotados de proteções extras contra óleo, agentes químicos ou radiação UV (ultravioleta) entre outras.

Será considerado um circuito com as seguintes condições:

- Alimentação 220/380 V – Trifásico (3F+PE);
- Cabo tetrapolar;
- Operação em 380 V;
- 60 Hz;
- Temperatura ambiente de 35 °C;
- Corrente de projeto máxima de 45 A;
- Queda de tensão máxima de 3 %;
- Fator de potência: 0,80;
- Comprimento do circuito: 130 m;
- Instalação em eletroduto aparente.

### **Cálculo segundo o critério de condução de corrente:**

Condutor fase:

- Fator de correção de temperatura ( $f_t$ ) - Tabela 20:

Para temperatura do solo igual a 35 °C e isolação em PVC tem-se:

$$f_t = 0,94$$

- Fator de correção de agrupamento ( $f_2$ ) - Tabela 22:

Eletroduto fechado, referência 1, circuito único, tem-se:

$$f_2 = 1,00$$

- Fator de correção de carregamento do neutro ( $f_3$ ):

Caráter geral, este fator é de 0,86 para circuitos com três condutores carregados. Conforme ABNT NBR 5410 item 6.2.5.6.

$$f_3 = 0,86$$

- Corrente fictícia de projeto  $I'_{\max}$

$$I'_{\max} = I_{\max} / (f_1 \times f_2 \times f_3) = 45 / (0,94 \times 1,00 \times 0,86) = 55,66 \text{ A}$$

- Método de instalação B2 – Para diferentes formas de instalação, consultar Tabela 33 – Tipos de linhas elétricas da ABNT NBR 5410:2004.

B2: Cabo multipolar em canaleta fechada embutida no piso.

- Tabela 14 – Cabo tetrapolar em cobre, isolado em PVC método de instalação B2 e três condutores carregados mais neutro, busca-se na coluna 9 da referida tabela o valor de  $I'_{\max}$ :

Como  $I'_{\max} = 55,66 \text{ A}$ , adota-se o valor imediatamente superior na tabela, ou seja, 62 A.

- Portanto, a seção do condutor fase será de 16 mm<sup>2</sup>

$$S_F = 16 \text{ mm}^2$$

- Condutor de proteção Tabela 12:

Para  $S_F = 16 \text{ mm}^2$  tem-se:

$$S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$$

- Queda de tensão ( $Z_c$ ):

$$\Delta U = 3 \% \times \text{Tensão do circuito}$$

$$220/380 \text{ V temos } 3 \% \times 380 \text{ V} \longleftrightarrow \Delta U = 11,4 \text{ V}$$

$$I_{\text{max}} = 45 \text{ A}$$

$$\ell = 130 \text{ m} = 0,13 \text{ km}$$

$$Z_c = \Delta U / (I_{\text{max}} \times \ell)$$

$$Z_c = 11,4 / (45 \times 0,13) = 1,95 \text{ V/A.km}$$

- Tabela 18 de queda de tensão:

Circuito trifásico, FP 0,80, tem-se o valor imediatamente abaixo, ou seja, o valor 2,0 V/A.km, determinando o condutor com a seção de 16 mm<sup>2</sup>.

- Portanto tem-se:

- Seção dos condutores fase

$$S_F = 16 \text{ mm}^2$$

- Seção dos condutores de proteção

$$S_{PE} = 16 \text{ mm}^2 *$$

(\*) Utilizado o mesmo critério descrito na Tabela 12.

Portanto, ao serem consideradas as condições estabelecidas nessa aplicação, encontra-se o cabo dimensionado a seguir:

Cabo multicondutor – **3x16 mm<sup>2</sup> + 1x16 mm<sup>2</sup>**

Isolação termofixa em PVC – 70 °C

Os fabricantes reservam famílias de produtos com suas respectivas denominações comerciais que atendam aos requisitos especificados. A eleição do fornecedor entre os fabricantes será de livre escolha do projetista.



### 7.3. DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO E AMBIENTAL

O ICA/Procobre disponibiliza em seu site o *software* para Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos de baixa tensão (até 1000 V) - DEAC conforme Norma ABNT NBR 15920. [6]

Para o exemplo adotado acima, considerando-se o critério de dimensionamento técnico e utilizando-se do citado *software*, obtém-se os cálculos correspondentes para o cabo multicondutor – **3x16 mm<sup>2</sup> + 1x16 mm<sup>2</sup>**.

Utilizando-se o *software* DEAC verifica-se que ele oferecerá como opção para este investimento o cabo **3x35 mm<sup>2</sup> + 1x16 mm<sup>2</sup>**.

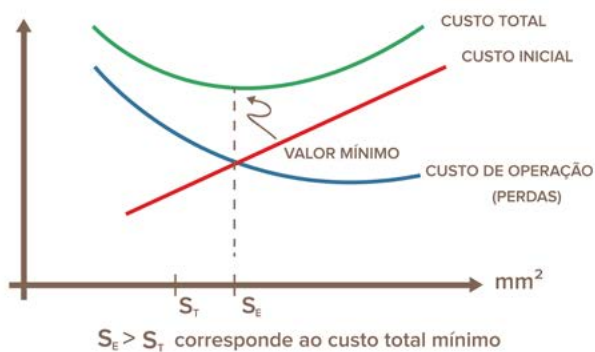
Veja os valores comparativos entre estes dois critérios:

TABELA 26			
Circuito	Custo Inicial R\$	Custo Operacional R\$	Custo Total R\$
<b>3x16 mm<sup>2</sup> + 1x16 mm<sup>2</sup></b>	14.820,00	64.080,00	78.900,00
<b>3x35 mm<sup>2</sup> + 1x16 mm<sup>2</sup></b>	32.420,00	29.294,00	61.714,00

Com a utilização do *software* de Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos, pode-se verificar que a melhor escolha é a utilização de uma seção superior, no caso 35 mm<sup>2</sup>, considerando os cálculos de ganho ambiental mostrados a seguir:

TABELA 27				
Substituição do Circuito	Economia de investimento (R\$)	Tempo de retorno do investimento (Anos)	Economia de Energia (kWh)	Ganho ambiental na redução de CO <sub>2</sub> (Kg-CO <sub>2</sub> )
<b>3x16 mm<sup>2</sup> + 1x16 mm<sup>2</sup></b>	17.187,00	10	86.966	5.630
<b>3x35 mm<sup>2</sup> + 1x16 mm<sup>2</sup></b>				

## Dimensionamento econômico - Custos



MAIOR CUSTO TOTAL \$\$\$\$



MENOR CUSTO TOTAL \$

A seção econômica ( $S_E$ ) de um circuito é aquela cujo resultado representa o menor custo total de instalação e operação de um condutor elétrico durante sua vida útil.

Pode-se verificar que as reduções de  $\text{CO}_2$  obtidas pelo uso do cabo calculado pelo critério de dimensionamento econômico, durante a vida econômica considerada, serão equivalentes a 5,6 toneladas de  $\text{CO}_2$  que deixarão de ser emitidas para a atmosfera.

Tomando-se como exemplo a simples substituição de um único circuito de 45 A, é fácil perceber o quanto isso pode contribuir para a preservação e sustentabilidade ambiental.

Ao extrapolar esse exemplo para o grande número de circuitos contidos no projeto de uma unidade da indústria do cimento e para qualquer aplicação em que se valorize o meio ambiente e a sustentabilidade do planeta, é possível perceber que milhares de toneladas de  $\text{CO}_2$  deixarão de ser emitidas para a atmosfera.



# A ENGENHARIA

DE APLICAÇÃO DOS CABOS  
ELÉTRICOS

---

## 8. A ENGENHARIA DE APLICAÇÃO DOS CABOS ELÉTRICOS

A engenharia, por definição, é a aplicação do conhecimento científico, social, econômico e prático com intuito de inventar, criar, desenvolver, construir e melhorar processos, produtos, materiais e sistemas.

A engenharia de aplicação voltada aos cabos elétricos discorre sobre o conhecimento, identificação e desenvolvimento do processo de instalação e operação de circuitos elétricos – passando pelo projeto, especificação, recebimento, manutenção e destino final do produto depois de decorrido seu tempo de vida útil.

A determinação dos corretos meios de aplicação destes produtos, das normas aplicáveis, das possíveis inovações tecnológicas, dos novos materiais e processos são premissas para o desenvolvimento e para a consolidação da aplicação de produtos e métodos.

Nesse contexto, é primordial a correta determinação e especificação dos cabos elétricos que devem ser aplicados em um determinado projeto, objetivando atender integralmente às necessidades dos clientes.

Tendo como foco a engenharia de aplicação, é conveniente que se estabeleça uma relação próxima entre “fabricante-cliente” para que a troca de experiências beneficie ambas as partes, de forma que o fabricante busque soluções técnicas para uma determinada situação de projeto e que o cliente utilize um produto que atenda integralmente ao seu projeto, garantindo desempenho adequado.

O início de um processo de engenharia de aplicação de cabos elétricos pode ser resumido por alguns passos básicos:

- Identificar os requisitos para a especificação do cabo ideal;
- Elaborar uma descrição técnica, que seja o mais completa possível, informando inclusive as características especiais que o produto deve conter;
- Interagir com o fabricante de cabos para a correta especificação do produto;
- Garantir e assegurar a correta aplicação, conforme o projeto e a necessidade do cliente final.

### 8.1. COMO REDIGIR A ESPECIFICAÇÃO DE UM CABO ELÉTRICO

Quando da emissão de solicitação de cotação de preços ao mercado, é comum encontrar-se descrições excessivamente resumidas, o que faz com que o fabricante de cabos, por falta de informações, apresente uma proposta técnica-comercial diferente da necessidade real do cliente.

A seguir, estão indicadas as características principais que devem ser destacadas para uma completa descrição de produto:

- Tipo do condutor (metal, nu ou estanhado, t mpera, tipo e classe de encordoamento);
- Classe de tens o;
- N mero de condutores fase e se o nominal em mm<sup>2</sup>;
- Blindagem do condutor;
- Isola o;
- Temperatura de opera o em regime normal;
- Blindagem da isola o – Parte n o met lica;
- Blindagem da isola o – Parte met lica (fio e/ou fita de cobre + t mpera + se o em mm<sup>2</sup>);
- Enchimento;
- Capa interna;
- Arma o;
- Cobertura externa (indicar classe de temperatura);
- Cor da cobertura externa;
- Identifica o das veias isoladas;
- Grava o;
- Norma de fabrica o;
- Caracter sticas t cnicas especiais;
- Tipo de acondicionamento\* (conforme ABNT NBR 11137) e comprimento do lance em metros;
- Garantia;
- Informar os ensaios que devem ser efetuados (rotina, especiais ou tipo);
- Tipo de inspe o – a) com inspetor no local da produ o; b) n o haver  inspe o, sendo necess rio o envio de relat rios de ensaios juntamente com o produto; ou c) outra forma de inspe o.

(\*)   importante esclarecer que para os fios de cobre utilizados em instala es de edifica es, o acondicionamento padr o de mercado   o rolo de 100 m.

A seguir, est  indicado um modelo de descri o t cnica para uma solicita o de cota o de material, cujo produto cont m v rias partes componentes:

## Descrição do produto

Condutor de cobre estanhado, têmpera mole, redondo compacto, classe de encordoamento 2, 3 x 50 mm<sup>2</sup>, 12/20 kV, blindagem do condutor com camada semicondutora aplicada por extrusão, isolação com composto termofixo de XLPE para temperatura normal de operação de até 90 °C, blindagem da isolação com camada semicondutora aplicada por extrusão (retirada a frio) + fios de cobre nu com têmpera mole e seção de 6 mm<sup>2</sup>, reunião das veias com enchimento interno química e termicamente compatível com os demais componentes do cabo e aplicado no centro da reunião das veias quando necessário, capa interna com composto termoplástico, armação com fios de aço galvanizado, cobertura com composto termoplástico PVC tipo ST2 na cor preta. As veias isoladas devem ser identificadas por números através de fios ou fitilhos coloridos. A cobertura externa deverá ser gravada de acordo com a norma de fabricação.

## Norma de fabricação

O cabo deverá ser produzido conforme Norma ABNT NBR 7287 - Cabos de potência com isolação sólida extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de isolamento de 1 kV a 35 kV – Requisitos de desempenho. [21]

## Característica(s) especial(ais)

O cabo deverá conter bloqueio contra a penetração longitudinal de água.

## Acondicionamento

O material deverá ser acondicionado em bobinas de madeira conforme ABNT NBR 11137 com lance de 350 m.

## Ensaio

Deverão ser realizados os ensaios de rotina conforme norma ABNT NBR 7287 e os respectivos relatórios de ensaios enviados juntamente com o produto.

Para que se conheçam os processos, segue uma breve descrição identificando os ensaios a serem realizados nos cabos elétricos:

- Ensaio de Recebimento: são os ensaios determinados por Norma e realizados conforme planos de amostragem. São testes de desempenho, capacidade e qualidade, não destrutivos:
  - Ensaio de rotina;
  - Ensaio especiais.
- Ensaio de Tipo: são ensaios determinados por Norma e realizados para determinar a capacidade e o desempenho do produto, geralmente são destrutivos e com custos altos;



- Ensaios previstos para a instalação: durante e após a aplicação final do produto previsto em projeto.

## **Inspeção**

A inspeção será final, em fábrica, e realizada com a presença de inspetor.

A inspeção de recebimento deverá ser previamente determinada: pode ser realizada na fábrica, conduzida por inspetor, se necessário, ou em laboratório externo, escolhido de comum acordo entre comprador e fornecedor.

- O cliente pode desenvolver seu Plano de Inspeção e Testes (PIT, também denominado PICQ – Plano de Inspeção e Controle de Qualidade) quando precisar determinar seu plano de amostras e formas de inspeção e controle;
- Existem empresas especializadas em inspeções independentes que desenvolvem trabalhos voltados a realizar e assegurar esses testes em grandes projetos. Elas atuam realizando inspeção de controle, qualidade e quantidade, cumprindo com todos os requisitos regulamentares previstos no projeto.

## **Garantia**

O período de garantia deve ser de 18 meses da compra ou 12 meses da instalação, prevalecendo o prazo que primeiro ocorrer.

## **Condição de entrega:**

O material deverá ser entregue na condição CIF (*cost, insurance and freight*) “custo, seguro e frete” e no formato:

<Nome Completo / Empresa>

<Tipo> <Logradouro>, <Número> - <Complemento>

<Bairro> - <CEP>

<Cidade/Município/Localidade>, <Estado> - <País>

Nota:

É importante esclarecer que a descrição apresentada acima se trata de um exemplo meramente didático e deverá ser adaptada ao caso real.

## **8.2. APLICAÇÃO DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA DO CIMENTO**

Com o objetivo de agregar conhecimento e enriquecer o conteúdo sobre a indústria cimenteira, o ICA/Procobre solicitou às empresas que oferecem produtos e serviços de engenharia a este setor que contribuíssem com orientações e análises de casos encontrados em campo.

É importante lembrar que podem existir particularidades em instalações para esse segmento que exijam características específicas com decorrentes variações. Portanto, os exemplos apresentados a seguir representam apenas um resumo de algumas situações reais.

As unidades de fabricação de cimento, bem como outras fábricas de processamento de minerais apresentam condições rigorosas para as aplicações de trituração, transporte, vibração e retificação. São ambientes sujeitos a variações térmicas extremas, de fornos rotativos a refrigeradores. Custos de energia altos e regulamentações ambientais são desafios adicionais que impactam a produtividade, realçando a importância do desempenho e da confiabilidade das instalações elétricas para o sucesso da operação.

A indústria do cimento oferece um grau de complexidade elevado para a aplicação de cabos elétricos nas instalações voltadas à mineração, processamento, produção e ao manuseio do cimento. São encontrados diversos tipos de aplicações dos condutores de eletricidade, com destaque para alimentação de potência, controle, supervisão, building wires, instrumentação e segurança.

Assim como na indústria petroquímica - objeto do Volume II destes Guias - as diversas áreas de produção, dentro de uma usina de cimento, são interligadas por redes de cabeamento e estrutura associada devido ao alto nível de automação da planta industrial.

As condições severas desses ambientes determinam requisitos para aplicação de cabos elétricos:

- **Proteção contra corrosão:** os cabos elétricos estarão sujeitos ao desgaste gradual por ataque químico, físico e pela interação com o ambiente agressivo no qual estão instalados e cuja atmosfera pode ainda ser modificada pela deposição de pó. O cimento, de um modo geral, é ácido e se acumula na forma de pó em todas as partes e estruturas de uma planta;
- **Proteção mecânica:** o ambiente está sujeito à movimentação de maquinário pesado, excesso de peso, máquinas rotativas, vibrações e práticas agressivas de carregamento (pá carregadeira, conchas, britagem, resfriador, moinhos, dentre outros) e queda de material sobre os cabos elétricos;
- **Proteção contra explosão:** a planta industrial nesse setor geralmente tem suas áreas classificadas de acordo com os combustíveis utilizados nos maçaricos para a alimentação dos fornos, com requisitos distintos para os cabos elétricos conforme cada situação;
- **Aterramento:** o sistema de proteção é extremamente importante em todos os níveis de operação, sejam galpões, instalações elétricas, equipamentos de transporte de produtos, esteiras transportadoras, fornos rotativos, estações de transbordo de materiais e equipamentos em geral.

Temperaturas elevadas e altas concentrações de partículas dificultam a manutenção de unidades de processo. Cargas de impacto aliadas a altas vibrações afetam ainda mais a vida útil dos equipamentos e instalações. Diante disso, é importante dedicar especial atenção à confiabilidade do sistema, que pode ser garantida pelo uso de cabos em cobre, visto que, uma manutenção corretiva não planejada gera custos altíssimos, com danos emergentes e lucros cessantes.

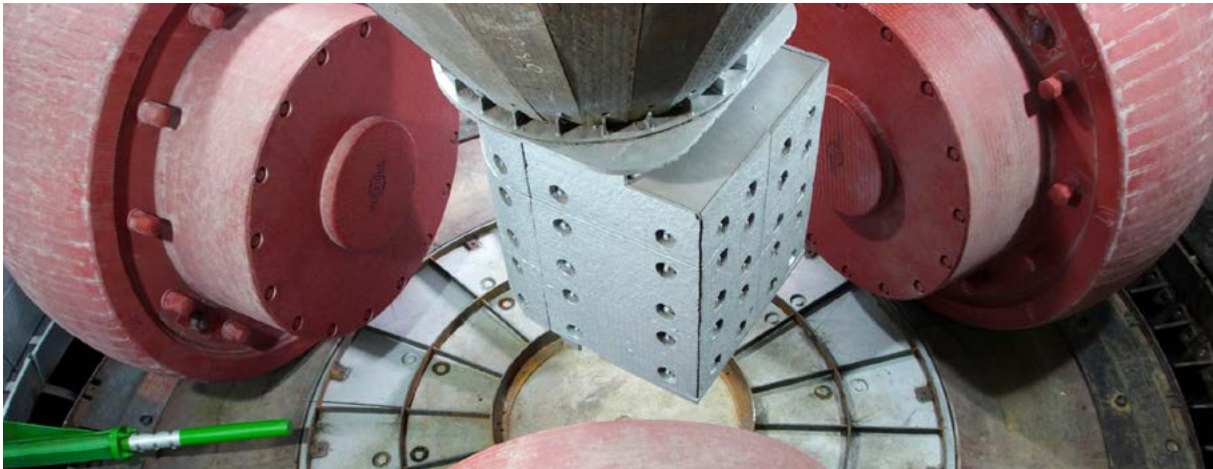
Existe uma extensa gama de aplicações de cabos elétricos para esse setor – as empresas seguem prioritariamente as recomendações das Normas ABNT NBR.

Para esclarecer quanto às informações técnicas sobre a maioria dos cabos elétricos utilizados neste setor, é apresentada a seguir, a Tabela 28 que elenca as classes de encordoamento e os locais onde são instalados os diferentes tipos de cabos elétricos. Contudo, variações podem ocorrer devido à ampla variedade de cabos e as particularidades de cada projeto:

<b>TABELA 28</b>		
<b>Tipos de cabos elétricos utilizados</b>	<b>Classes de encordoamento</b>	<b>Local onde utilizado</b>
Cabos de cobre nu	2	Malhas de aterramento de tanques, tubulações, bombas, válvulas, plataformas de carregamento, esteiras transportadoras, carcaças de motores, escadas, guarda copos, áreas de carregamento de caminhões e comboios ferroviários, equipamentos envolvendo movimentação de materiais.
Cabos para instalação predial 750V, conhecidos como BW: “ <i>Building Wire</i> ” com características de baixa emissão de fumaça e gases tóxicos e livre de halogênio	5	Edificações em geral com grande circulação de pessoas.
Cabos para instalação predial 750V, conhecidos como BW: “ <i>Building Wire</i> ”	5	Edificações em geral.
Cabos de controle e instrumentação	2 e 5	Nas máquinas operatrizes em geral para a automação e controle.
Cabos de potência 0,6/1kV	2 e 5	Bombas, balanças dosadoras, fornos, peneiras, britadores, moinhos, ventiladores, exaustores, britadores, correias de transporte, ensacadeira, alimentação de equipamentos em geral e iluminação.
Cabos de potência 0,6/1 kV (inversor de frequência).	5	Nas máquinas operatrizes em geral que utilizem controle de velocidade.
Cabos de potência de média tensão até 35 kV	2	Subestações e distribuição de energia. Alimentação de motores de anéis alta potência. Moinhos de Cru e equipamentos de grande potência instalada.
Cabos para inversores de frequência (BT).	5	Máquinas operatrizes em geral que utilizem controle de velocidade. Equipamentos alimentados em corrente contínua.
CCM – Centro de Controle de Motor – BT e MT	2 e 5	Acionamento de motores trifásicos em (BT) 220V - 440V ou em (MT) 2,3 kV a 15 kV.



Moinho de Cimento - clínquer



Moinho de Cru

Benefícios dos cabos elétricos de cobre para esta aplicação:

- Confiabilidade das conexões;
- Maior flexibilidade e aplicação específica em enroladores e equipamentos móveis;
- Raio de curvatura reduzido;
- Resistência a agentes químicos;
- Resistente à corrosão do condutor;
- Maior capacidade de corrente e menor perda por aquecimento.

Nota-se preferência por cabos flexíveis, pois facilitam o lançamento em longas distâncias em rotas não retílineas, visando a facilidade, a segurança e a redução de custos operacionais nas instalações.

Tipos de isolações utilizadas:

- PVC;
- EPDM;
- EPR e HEPR – em função da classe de temperatura de operação do cabo (maior ampacidade).

Tipos de coberturas utilizadas:

- PVC – para os cabos de BT e MT;
- Polietileno Clorado - CPE – para cabos de BT e MT;
- NEOPRENE, HYPALON e Poliuretano – para os cabos de uso móvel.

A Tabela 29 destaca o desempenho de alguns materiais, considerando a reação particular de cada tipo aos diversos agentes químicos.

TABELA 29								
Resistência aos agentes químicos								
Materiais	Ácido sulfúrico (30 %)	Ácido nítrico (10 %)	Ácido	Tetracloroeto de Carbono	Óleos	Gasolina	Ozônio	Intemperismo
PVC	Regular	Regular	Regular	Bom	Regular	Bom	Bom	Bom
PE	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
XLPE	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Neoprene	Bom	Regular	Ruim	Ruim	Bom	Regular	Regular	Bom
Hypalon	Bom	Ruim	nd *	Ruim	Regular	Ruim	Bom	Bom
EPR	nd *	nd *	Regular	nd *	Ruim	nd *	Bom	Bom
Teflon	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Nylon	Ruim	Ruim	nd *	Bom	Bom	Bom	Regular	nd *
CPE	Bom	Bom	Bom	nd *	Bom	Bom	Bom	Bom

\* "nd": "informação não disponível"

Não é comum a utilização de armações nesse segmento, todavia para cabos acima de 5 kV utiliza-se blindagem semicondutora para cada fase e acima desta tensão, blindagem de fita ou fios aplicados de forma helicoidal.

Esse segmento utiliza as Normas ABNT NBR e, de maneira geral, as empresas não estabelecem normas próprias.

Para eventuais aplicações não compreendidas nas Normas ABNT NBR são utilizadas Normas internacionais, tais como ICEA ou IEC.

Os tipos de instalação utilizados são as canaletas (de alvenaria – no solo), eletrodutos corrugados enterrados ou não, eletrodutos aparentes circulares ou não, leitos ou bandejas. São encontradas aplicações aéreas, bem como leitos segregados a margem do leito de acesso. Como também aplicações específicas em equipamentos móveis, enroladores de tambores, guias, pontes rolantes, escavadeiras e perfuratrizes.

### 8.3. SUGESTÕES PARA ENRIQUECER A RELAÇÃO ENTRE CLIENTE E FABRICANTE

Para a correta especificação de um cabo elétrico devem-se considerar os aspectos técnicos abordados até aqui. Há ainda outros aspectos que merecem atenção e devem ser observados para que a consulta de preço do cliente, a proposta do fabricante de cabo, a emissão de ordem de compra do cliente e a produção e entrega do cabo pelo fabricante sejam processados sem intercorrências que prejudiquem o cumprimento do prazo de entrega e o andamento da obra.

É importante reforçar que o pedido de ordem de compra esteja perfeitamente alinhado com a consulta de preços do cliente e a proposta do fabricante, esclarecendo previamente eventuais dúvidas e discrepâncias.

Fluxo adequado de informações entre o cliente e fabricante:



Na sequência, a Tabela 30 resume situações que ocorrem com certa frequência no mercado e por isso merecem atenção especial quando da emissão de consultas de preço e ordens de compra:



**TABELA 30**

SITUAÇÕES	CONSEQUÊNCIAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Errar ao informar o(s) lance(s) ou a quantidade total de cabo.</li> <li>• Informar a quantidade total de cabo como sendo o comprimento do circuito (circuitos trifásicos). Ou seja, 1.000 m de cabo quando o correto seria 3.000 m.</li> <li>• Comunicar ao fabricante a ocorrência dos erros acima, após vários dias da emissão da ordem de compra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de nova produção.</li> <li>• Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.</li> </ul> <p>Motivos do não atendimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se a nova quantidade for maior, o fabricante poderá não ter matérias-primas em estoque e os seus fornecedores não conseguirão proceder à entrega.</li> <li>✓ Caso a nova quantidade seja menor, o fabricante poderá não ter como atender devido a existir quantidade mínima para fornecimento ou por não desejar ficar com matéria-prima não consumida em estoque. O fabricante poderá ter dificuldades em mudar seu planejamento de produção devido aos compromissos com demais ordens de compra em andamento.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lance grande</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode exigir bobina com dimensão muito grande e peso significativo, gerando problemas no recebimento do produto:</li> <li>✓ Dificuldades para descarregar a bobina.</li> <li>✓ Cavelete não suporta as dimensões e peso da bobina.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Errar ao informar a tolerância do lance.</li> <li>• Comunicar ao fabricante, uma correção de tolerância, após vários dias da emissão da ordem de compra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de nova produção.</li> <li>• Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.</li> </ul> <p>Motivos do não atendimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fabricante não tem como atender à tolerância solicitada. As tolerâncias do lance indicadas nas normas ABNT NBR são: 3 % para cabos isolados e 5 % para cabos nus (a tolerância total do fornecimento deverá ser negociada com o fabricante).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Errar ou omitir a tolerância do lance de um circuito trifásico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornecimento com um lance inadequado ou com o padrão do fabricante que, conseqüentemente, poderá não atender ao comprimento necessário para as fases do circuito trifásico devido às tolerâncias de fabricação gerarem lances distintos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Engano ao informar a unidade de medida (o padrão do mercado é: "cabos de cobre nu" em quilograma e "cabos isolados" em metro).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção equivocada em termos de quantidade podendo resultar em necessidade de nova produção e atrasos na entrega.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Engano nas quantidades, descrições de produtos e na indicação de normas técnicas, devido à falta de planejamento no momento da emissão da consulta de preços e ordem de compra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geralmente, esta situação é percebida somente no momento do recebimento do material.</li> <li>• Necessidade de nova produção.</li> <li>• Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informar a cor de cobertura ou isolamento (cabo sem cobertura) que não seja um padrão de fornecimento do fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de negociação entre cliente e fabricante.</li> <li>• Risco de não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emitir ordem de compra sem observar eventuais comentários e conteúdo da proposta técnica-comercial do fabricante de cabos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de renegociação entre cliente e fabricante.</li> <li>• Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informar que haverá inspeção somente perto da data do faturamento (deixar de informar na ordem de compra).</li> <li>• Agendar inspeção em dias e horários não coordenados com o fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricante não terá tempo hábil para planejar a inspeção (ou funcionários disponíveis para o recebimento do inspetor) devido às inspeções de outras ordens de compra.</li> <li>• Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deixar de incluir o CNPJ do local de entrega do material.</li> <li>• Não indicar eventuais incentivos fiscais obtidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerar faturamento equivocado ou a impossibilidade de efetuar o faturamento e entrega do material.</li> <li>• Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cancelar de ordem de compra de cabos a serem produzidos (produtos que não fazem parte da política de estoque do fabricante).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitos fabricantes não aceitam o cancelamento desse tipo de ordem de compra (dependendo do momento do cancelamento) por já terem adquirido as matérias-primas necessárias.</li> </ul>

---

## 9. CONCLUSÃO

O ICA/Procobre espera que este guia tenha enriquecido o conhecimento dos leitores sobre a aplicação de cabos elétricos na Indústria do Cimento e que contribua para que os projetos do setor levem em consideração e incorporem as informações aqui apresentadas.

O conteúdo abrange conceitos técnicos e características direcionadas ao projeto de cabos elétricos, procurando oferecer, de forma simples e didática, os caminhos para a correta especificação dos cabos elétricos a serem utilizados na indústria cimenteira. Assim como procurou apresentar uma breve visão desse setor, apenas para situar o leitor no contexto e na diversidade englobada por este mercado.

Pode-se ressaltar o grau de complexidade e agressão aos quais os cabos elétricos estão submetidos neste ambiente, bem como os esforços dedicados ao desenvolvimento de técnicas e materiais específicos para este segmento.

Visto que os desafios encontrados estão em constante evolução, os fabricantes de cabos para este setor disponibilizam uma ampla variedade de cabos elétricos, com produtos que atendem a aplicações específicas, que devem compor o planejamento e coordenação do processo de aquisição destes produtos.

O texto destaca que a engenharia de aplicação é indispensável para a correta elaboração do projeto e para a escolha adequada do produto e da instalação, para eliminar a possibilidade de falhas resultantes das divergências entre o projeto e as necessidades e particularidades da aplicação prática.

Com o estudo aqui apresentado fica evidente o valor das características e dos benefícios do cobre, assim como sua importância no setor elétrico e na sustentabilidade do planeta.

O objetivo desse Guia foi reunir um conteúdo de qualidade e útil aos profissionais atuantes em eletricidade que, a partir, da renovação de conhecimentos, podem aprofundar e complementar seu repertório de forma a criar um diferencial para seus projetos e para sua atuação.

Na prática do exercício de suas funções, os profissionais percebem a utilidade de associar conhecimento de diferentes especialidades que facilitam detectar melhores soluções para um determinado problema. O dinamismo e a atualização constante de conhecimento regem o mundo moderno, que pode ser beneficiado pela troca de experiências com a melhor performance tanto dos profissionais quanto das empresas.

Contribuições e sugestões para aperfeiçoar esse estudo podem ser encaminhadas para: [procobre@procobre.org.br](mailto:procobre@procobre.org.br).

A proposta do ICA/Procobre é sempre melhorar as informações onde o cobre esteja presente e acredita que com a divulgação e distribuição deste Guia pôde contribuir com o leitor e fortalecer o setor de cabos elétricos.

---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ABNT, NBR 5471:1986 - Condutores Elétricos, 1986.
- [2] I. C. S. Group, The World Copper Factbook 2015, 2015.
- [3] E. W. Weisstein, “Resistivity,” [Online]. Available: <http://scienceworld.wolfram.com/physics/Resistivity.html>. [Acesso em 23 01 2016].
- [4] Georgia State University, “Thermal Conductivity,” 2016. [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/thercond.html>. [Acesso em 2016 01 23].
- [5] MDJ, “COMPARAÇÃO DE CUSTO ENTRE CABOS ISOLADOS DE BAIXA TENSÃO EM COBRE E ALUMÍNIO - Projeto de Análise de Ciclo de Vida,” International Copper Association, 2011.
- [6] H. Moreno, “Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos,” Procobre, 2010.
- [7] Copper Alliance, “Physical properties for copper and aluminium in electrical applications,” 16 04 2015. [Online]. Available: <http://help.leonardo-energy.org/hc/en-us/articles/202671931-What-are-the-most-relevant-physical-properties-for-copper-and-aluminium-in-electrical-applications->. [Acesso em 23 01 2016].
- [8] Procobre, “Benefícios Sociais,” Procobre, [Online]. Available: <http://procobre.org/pt/beneficios-sociais/>.
- [9] Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.), “Climate Change 2007: Synthesis Report Synthesis Report,” 2007. [Online]. Available: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf). [Acesso em 2016 01 26].
- [10] ABNT, NBR 5410-1 - Instalações elétricas de baixa tensão - Proteção e segurança, 2004.
- [11] ABNT, NBR 14039 - Instalações elétricas de média tensão 1,0 kV a 36,3 kV, ABNT, 2005.
- [12] ABNT, NBR 15920 - Cabos elétricos — Cálculo da corrente nominal — Condições de operação — Otimização econômica das seções dos cabos de potência, 2011.
- [13] ICA/Procobre, “Energia fotovoltaica ganha competitividade,” 2016. [Online]. Available: <http://procobre.org/pt/noticias/custo-da-energia-fotovoltaica-ganha-competitividade/>. [Acesso em 06 05 2016].

- [14] P.D.R. Cutri, "O Portal da Eficiência Energética - Construções Sustentáveis," [Online]. Available: <http://leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/download-manager-files/Doc.%2076-ie-qe%20Webinar%20Constru%C3%A7%C3%B5es%20Sustent%C3%A1veis.pdf>. [Acesso em 23 01 2016].
- [15] International Copper Association, "Meio ambiente e reciclagem," 2015. [Online]. Available: <http://www.campanhacobresustentavel.com.br/index.php#blockrandom>. [Acesso em 26 01 26].
- [16] S. Glöser, M. Soulier e L. A. T. Espinoza, "Dynamic Analysis of Global Copper Flows. Global Stocks, Postconsumer Material Flows, Recycling Indicators, and Uncertainty Evaluation," 2013.
- [17] F. P. D. FPD. [Online]. Available: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABVCEAL/cabos-eletricos>. [Acesso em 2016 01 23].
- [18] M. Daniel, "Características construtivas dos cabos de energia," 14 10 2014. [Online]. Available: <http://www.kitacessorios.com.br/caracteristicas-construtivas-dos-cabos-de-energia/>. [Acesso em 2016 01 23].
- [19] M. M. Gomes, "Polímeros / Elastómeros / Borrachas," [Online]. Available: <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-epdm.php>. [Acesso em 23 01 2016].
- [20] ABNT, NBR 11301 - Cálculo de capacidade de condução de corrente de cabos isolados em regime permanente, ABNT - Associação de Normas Técnicas, 1990.
- [21] ABNT, NBR 7287:2014 - Cabos de potência com isolação sólida extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de isolamento de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho, 2014.

Realização:



Apoio:

