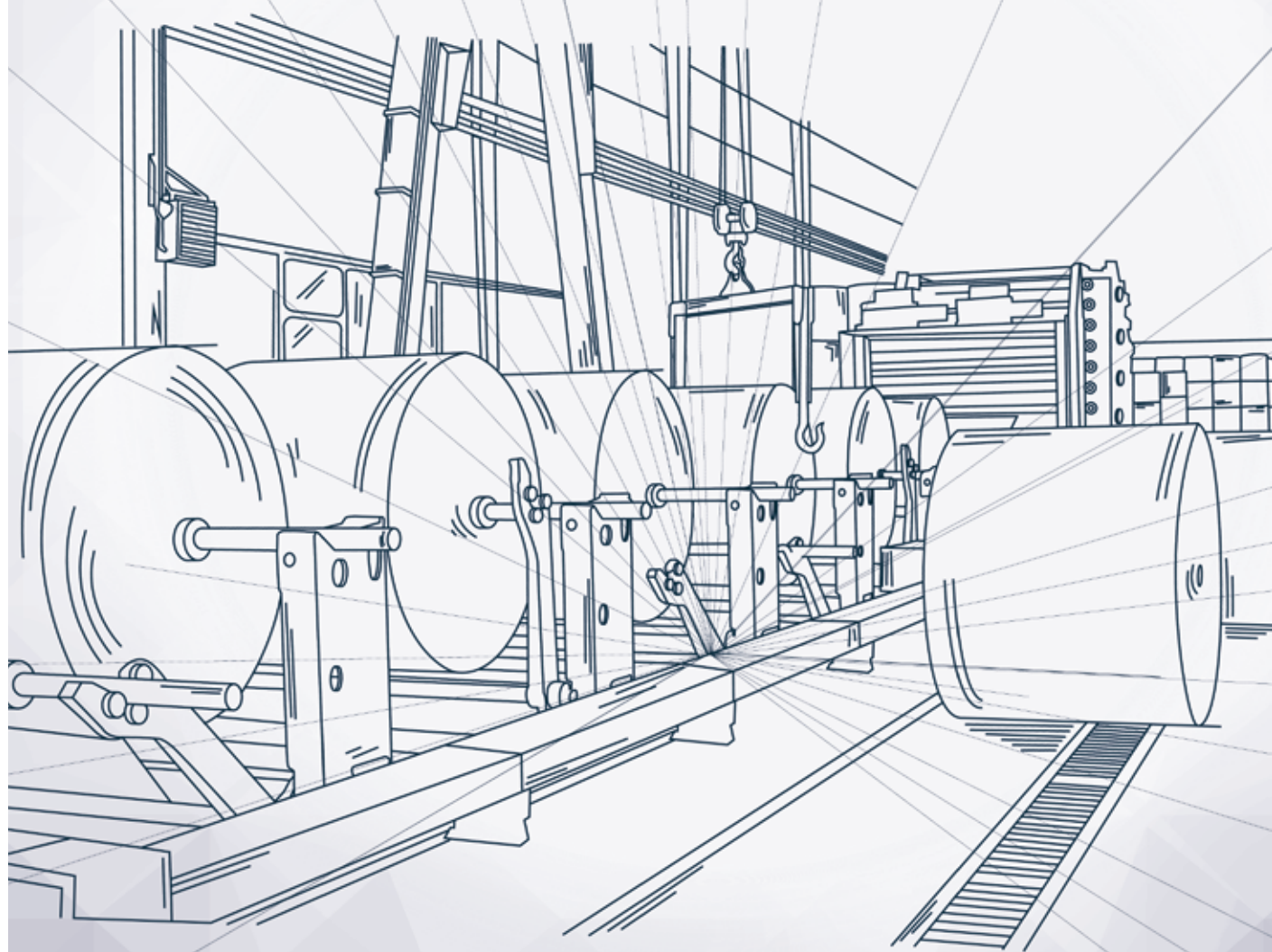


GUIA DE APLICAÇÃO PARA CABOS
ELÉTRICOS COM CONDUTORES EM COBRE

INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

VOLUME VII



International Copper
Association Brazil
Copper Alliance

GUIA DE APLICAÇÃO PARA CABOS
ELÉTRICOS COM CONDUTORES EM COBRE

INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

VOLUME VII



International Copper
Association Brazil
Copper Alliance

AGRADECIMENTOS

O ICA/Procobre agradece o apoio das empresas fabricantes de cabos e a participação direta ou indireta dos instaladores e empresas do setor de Papel e Celulose para a realização desta publicação.

Apoio

NEXANS BRASIL S.A.

PRYSMIAN CABOS E SISTEMAS DO BRASIL S.A.

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

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 Guia é composto por diversos volumes. Nesse sétimo volume é abordado o setor de Papel e Celulose, de modo a elencar os desafios encontrados para determinar o cabo elétrico correto a ser utilizado.

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 elaboração do “Guia de Aplicação para Cabos Elétricos com Condutores em Cobre” contou com o apoio dos fabricantes de cabos elétricos, os quais disponibilizaram seu acervo técnico a respeito das características dos cabos. Além disso, foram realizadas pesquisas em mídia impressa e eletrônica, e com empresas do setor, permitindo que o presente Guia pudesse reunir as informações necessárias para uma correta seleção e dimensionamento de cabos de cobre.

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 e se atualizarem com as eventuais futuras revisões das Normas, não tendo este Guia a intenção de substituí-las.

Uma vez que o mercado utiliza três denominações diferentes, é necessário esclarecer que os termos

“cabo elétrico”, “condutor elétrico”, ou simplesmente “cabo” significam 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.

Para facilitar a pesquisa bibliográfica, as fontes bibliográficas foram numeradas e a numeração de referência disposta no decorrer do texto da seguinte maneira: [1], [2], etc.

O ICA/Procobre espera que este Guia possa facilitar a aplicação dos cabos em cobre. Caso haja necessidade de aprofundamento das informações, ao final do texto estão disponibilizadas as fontes utilizadas para sua elaboração.

Boa leitura!

Abril de 2018

1. OBJETIVO	09
2. INSTITUCIONAL - ICA/PROCOBRE	10
3. COBRE – HISTÓRIA, CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS	13
3.1 USO DO COBRE AO LONGO DA HISTÓRIA	14
3.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO COBRE.....	17
3.3 O COBRE NA ÁREA ELÉTRICA	20
4. SUSTENTABILIDADE	23
4.1 COBRE: ELEMENTO ESSENCIAL PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL.....	24
4.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E FONTES LIMPAS DE ENERGIA	25
4.3 DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO E AMBIENTAL DOS CONDUTORES ELÉTRICOS	32
5. DADOS CONSTRUTIVOS DE UM CABO ELÉTRICO DE POTÊNCIA	35
5.1 CONDUTOR	37
5.1.1 MATERIAL DO CONDUTOR	37
5.1.2 FORMAÇÃO DO CONDUTOR.....	41
5.1.3 CLASSE DE ENCORDOAMENTO.....	42
5.1.4 SEÇÃO NOMINAL DOS CONDUTORES	45
5.2 BLINDAGEM DO CONDUTOR (APENAS PARA CABOS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO)	46
5.3 ISOLAÇÃO	47
5.4 BLINDAGEM DA ISOLAÇÃO E BLINDAGEM METÁLICA (APENAS PARA CABOS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO).....	50
5.5 ARMAÇÃO	51
5.6 COBERTURA.....	52
5.7 COMPORTAMENTO DOS CABOS ELÉTRICOS EM RELAÇÃO AO FOGO E FUMAÇA.....	54
6. A ENGENHARIA DE APLICAÇÃO DOS CABOS ELÉTRICOS....	57
6.1 COMO REDIGIR A ESPECIFICAÇÃO DE UM CABO ELÉTRICO	59
6.2 SUGESTÕES PARA ENRIQUECER A RELAÇÃO ENTRE CLIENTE E FABRICANTE	61

7. APLICAÇÃO DE PRODUTOS NAS INSTALAÇÕES DE	
INDÚSTRIAS DE PAPEL E CELULOSE.....	65
7.1 A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE.....	66
7.2 VISÃO GERAL DOS CONDUTORES PARA UMA INSTALAÇÃO	
ELÉTRICA DE UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE.....	68
7.3 NORMALIZAÇÃO TÉCNICA DE CABOS ESPECIAIS PARA	
A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE.....	74
7.4 RESISTÊNCIA À TEMPERATURA DE MATERIAIS DE	
ISOLAÇÃO E COBERTURA.....	74
7.5 RESISTÊNCIA DE MATERIAIS DE ISOLAÇÃO E COBERTURA	
A OUTROS ELEMENTOS.....	75
7.6 EXEMPLOS DE CABOS ESPECIAIS PARA INDÚSTRIA DE	
PAPEL E CELULOSE	76
7.6.1 CABO DE ENERGIA 200 °C – 300/500 V PARA	
ALTAS TEMPERATURAS	76
7.6.2 CABO DE ENERGIA 105 °C – 600 V MULTIPOLAR,	
RESISTENTE A ÓLEO E ABRASÃO	76
7.7 DIMENSIONAMENTO DE CABOS ESPECIAIS PARA	
INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE	77
8. CONCLUSÃO	81
BIBLIOGRAFIA.....	82

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, sua qualidade, seu desempenho e os benefícios que somente este metal pode oferecer.

É apresentada uma breve história do cobre, suas principais características e benefícios. Além disso, são feitas considerações sobre os aspectos de sustentabilidade que envolvem o metal, com destaque para o tema da eficiência energética, incluindo o dimensionamento econômico e ambiental de circuitos elétricos que utilizam condutores de cobre.

Como as partes dos cabos de potência para uso no setor de Papel e Celulose são similares aos cabos de uso geral, são descritos então os principais componentes dos cabos de baixa e média tensões, identificando as funções de cada elemento, materiais mais utilizados, propriedades, etc. Em seguida, são indicados alguns aspectos relativos à seleção e especificação dos cabos elétricos para todas as aplicações que são importantes na relação entre clientes e fabricantes, visando a obtenção do melhor resultado na utilização dos produtos.

Na sequência deste Guia, são então apresentados os cabos elétricos apropriados para uso no setor de Papel e Celulose. Não se tem a pretensão de abordar todos os cabos elétricos envolvidos nessa área específica, mas sim informar ao leitor os produtos mais usuais, bem como suas principais aplicações, seleção e dimensionamento.

A indústria de Papel e Celulose figura entre as principais da indústria brasileira, com grande peso na economia do país, inclusive no que se refere ao volume de exportações. Segundo a principal associação desse mercado, a IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de celulose e o oitavo de papel.

Mas, para se manter no topo, os investimentos nessa área não param. Ao contrário, as várias plantas fabris instaladas no país investem constantemente para elevar o nível de produtividade e eficiência. Sem contar a própria expansão do parque fabril, com novas unidades. E a cada nova ação, há demanda por condutores de cobre. Daí a relevância desse Guia, que traz informações preciosas sobre a escolha e aplicação de fios e cabos elétricos nesse tipo de indústria.

2. INSTITUCIONAL - ICA/PROCOPRE

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 o governo, ONGs, órgãos reguladores, entidades afins e usuários permite a 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, que provocou a formação de uma grande comunidade, 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: 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 e www.leonardo-energy.org.br





COBRE

HISTÓRIA, CARACTERÍSTICAS
E BENEFÍCIOS

3. COBRE – HISTÓRIA, CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS

3.1 USO DO COBRE AO LONGO DA HISTÓRIA

A história do cobre se mistura com a própria evolução da vida humana na Terra. Graças às suas características, o metal (e suas ligas) ocupou – e continua ocupando – um papel de destaque no processo evolutivo da humanidade, sendo utilizado em praticamente todas as fases das revoluções tecnológicas pelas quais o ser humano passou, inclusive nas civilizações mais antigas.

Alguns registros e pesquisas indicam que o cobre foi o primeiro metal a ser efetivamente utilizado pelo homem, o que teria acontecido cerca de 15.000 anos atrás, quando ele foi encontrado na superfície da terra na forma de cobre nativo.

Porém, foi no final do período Neolítico, ou da Pedra Lascada, que seu uso avançou no dia a dia das comunidades. Nesse período, o homem começou a dominar algumas técnicas de manuseio e fundição do metal, que passou a, gradativamente, substituir elementos como madeira, ossos e pedra na fabricação de armas, ferramentas de trabalho, instrumentos de caça e utensílios agrícolas.

Essa era (entre 4.000 a.C. e 3.000 a.C.) é identificada pelos historiadores como Idade do Cobre, que corresponde à transição do Neolítico para a Idade do Bronze, e que deu início à Idade dos Metais. Foi um período pré-histórico de grande desenvolvimento humano, principalmente em civilizações da Europa, Oriente Médio e sul da Ásia.



NA IDADE DO COBRE, ESSE METAL FOI UTILIZADO NA:

- Confecção de artefatos como potes, copos, vasilhas e facas
- Confecção de armas como lanças, espadas, escudos, facões e machados
- Confecção de joias e objetos artísticos como estatuetas, máscaras, anéis e colares
- Confecção de instrumentos agrícolas como enxadas e charruas. Este avanço levou ao aumento da produção de alimentos e, por consequência, ao crescimento populacional nas comunidades que dominavam a técnica de fundição do cobre



Em termos de registros escritos, a Bíblia possivelmente contém as menções mais antigas sobre a utilização do cobre por parte de civilizações da antiguidade. No Velho Testamento, por exemplo, há várias citações sobre o metal, como a passagem do Livro de Gênese que trata do filho de Lamec e Sela, 'Tubal-Caim': "O pai de todos aqueles que trabalham o cobre e o ferro" (Gn 4:22).

No Livro do Êxodo há alusões do uso do metal na construção dos templos, como em Êxodo 38:1 - 20, com inúmeras citações do uso de bronze em itens como utensílios do altar, cinzeiros, garfos, pás, grelhas e braseiros. A Bíblia cita ainda a aplicação de bronze na construção do Templo de Salomão.

Além dos registros bíblicos, objetos encontrados em escavações arqueológicas, hoje espalhados por museus de todo o mundo, revelam o uso do cobre pelo homem há milhares de anos, em diferentes regiões e períodos históricos. Por exemplo, no norte do atual Iraque foi encontrado um colar de cobre de 8.700 a.C.

Na Europa, o ‘Homem de Gelo’ encontrado no Tirol (Itália) em 1991, cujos restos datam de cerca de 5.000 anos atrás, estava acompanhado de um machado de cobre com pureza de 99,7 %.

Também foram descobertas moedas, armas e utensílios domésticos sumérios e egípcios de cobre e bronze de 3.000 a.C. Os egípcios, aliás, descobriram que a adição de pequenas quantidades de estanho facilitava a fusão do cobre e aperfeiçoaram os métodos de obtenção do bronze.

Na antiga China se conhece o uso do cobre desde, ao menos, 2.000 a.C.

Particularmente no que tange ao uso do cobre vinculado à eletricidade, uma descoberta realizada em meados de 1936 chama a atenção. Nesse ano, durante uma escavação nas ruínas da vila de Khujut Rabu (Iraque), os arqueólogos encontraram artefatos que foram batizados de ‘Bateria de Bagdá’.

Cada artefato era composto de um vaso de argila e, em seu interior, havia um tubo feito de chapa de cobre, com cerca de 2,5 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento. A base do tubo estava selada por um disco, também de cobre, e uma barra de ferro, aparentemente corroída por ácido, se projetava através de uma tampa de betume na parte superior.

A princípio, o item foi catalogado como objeto de culto. Porém, algum tempo depois o arqueólogo alemão Wilhelm König examinou a peça em detalhe e chegou a uma conclusão surpreendente: se o tubo havia sido preenchido com uma solução ácida, havia funcionado como um tipo de bateria elétrica rudimentar, daí o termo ‘Bateria de Bagdá’. Isso há cerca de 2.000 anos.



CURIOSIDADES

- Na antiguidade, as principais minas de cobre ficavam nas regiões do Sinai, Síria, Afeganistão, Chipre, Macedônia, Ibéria e na Europa Central. Na Europa, em particular, as principais reservas da Era do Bronze estavam na Áustria, Alemanha, França, Espanha, Portugal, Grécia e Tirol.



- Os romanos foram os responsáveis pelo uso mais intensivo do cobre em sua época. Isso porque o emprego do metal se espalhou por todas as regiões conquistadas por suas legiões. A maior parte do cobre romano veio da ilha de Chipre, que eles chamavam Cyprium, da qual derivou a palavra Cuprum, dando origem à sigla Cu como símbolo químico do cobre.

3.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO COBRE

O cobre é um metal relativamente fácil de se manusear, daí sua utilização (e de suas ligas) pelo homem há milhares de anos, bem antes do uso de outros metais também importantes, como o ferro e o ouro. No entanto, são as suas características e propriedades, que oferecem inúmeros benefícios, que explicam o seu uso crescente, em diversas atividades, ao longo da história e da evolução tecnológica da humanidade.

Metal nobre e elemento de transição, o cobre pertence ao grupo 11 (1B) da Tabela Periódica. De coloração avermelhada, ele exhibe uma estrutura cristalina cúbica de

face centrada, com propriedades semelhantes às da prata e do ouro. Entre algumas de suas características podemos citar que ele é dúctil, maleável, resistente à corrosão, possui propriedades antibacterianas e é um ótimo condutor elétrico e térmico.

Além disso, suas inúmeras ligas oferecem uma gama enorme de combinações de propriedades mecânicas que refletem um alto grau de adaptabilidade. Por isso elas são utilizadas em aplicações variadas, que podem demandar de baixa a moderada resistência à tensão mecânica, moderada estabilidade térmica ou resistência à deformação por estresse.

As propriedades do cobre e suas ligas permitem ainda que sua aplicação contribua para o aumento da qualidade de vida das pessoas; aumento da eficiência energética na produção, distribuição e consumo de eletricidade; estimule a evolução da energia sustentável; e promova o desenvolvimento tecnológico.

Ou seja, apesar de sua relevância histórica, o cobre torna-se cada vez mais atual, indo ao encontro dos desafios da sociedade moderna, do século XXI, como a escassez de recursos, as mudanças climáticas e os problemas de saúde pública.

Atualmente, o metal é aplicado em inúmeras áreas, incluindo: arquitetura, saúde, meio ambiente, piscicultura, construção civil, energia, telecomunicações e transporte, apenas para citar alguns setores. Sem contar que o cobre é um dos metais mais importantes na indústria moderna e, portanto, essencial para a sua evolução. Ou seja, ele continua cada vez mais presente na vida das pessoas.

Graças ao grande número de aplicações, a demanda global por cobre continua em crescimento. Nos últimos 50 anos o consumo de produtos refinados de cobre mais que triplicou [1], reforçando o papel do cobre no avanço da tecnologia, expansão da atividade econômica e para melhorar a qualidade de vida.



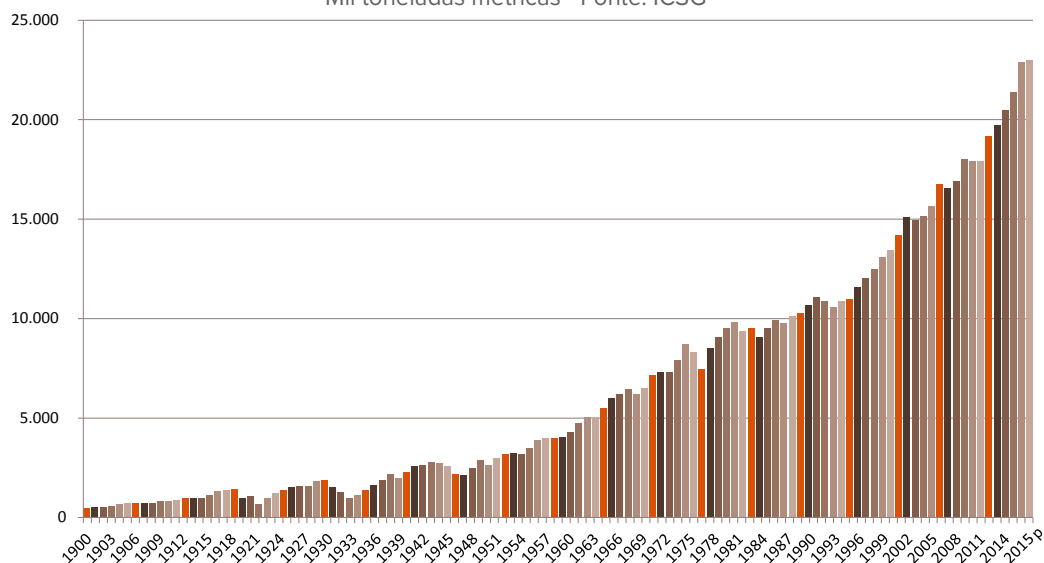
Se considerarmos como ponto de partida o ano de 1900, o avanço do metal fica ainda mais evidente. Naquele ano, o uso de cobre refinado foi de cerca de 500 mil toneladas. Em 2014, esse montante atingiu a marca de 22,9 milhões de toneladas, o que mostra, neste período, uma taxa composta de crescimento anual de 3,4 %.

ALGUMAS APLICAÇÕES DO COBRE

- **Aquicultura:** bastante utilizado nessa área devido às suas propriedades metalúrgicas e biológicas naturais e longa vida útil
- **Ar-condicionado:** o cobre possui maiores coeficientes de transferência de calor e colabora para a redução geral no custo do sistema
- **Área hospitalar:** devido à sua propriedade antimicrobiana, o cobre e suas ligas têm capacidade de eliminar vários agentes patogênicos em um curto espaço de tempo
- **Arquitetura, arte e design:** devido à sua coloração, durabilidade, riqueza de qualidades mecânicas e estéticas
- **Energia:** por ser um dos melhores condutores de eletricidade e de calor, o cobre é amplamente empregado em redes de alta, média e baixa tensão. Essencial para o melhor desempenho de motores, transformadores e diversos equipamentos eletroeletrônicos. Está presente também nas instalações de fontes de energia renovável (com destaque para a hídrica, eólica e fotovoltaica)
- **Instalações elétricas prediais:** devido à ótima condutividade do cobre, ele desempenha papel fundamental no desenvolvimento de aplicações elétricas e eletrônicas
- **Sistemas de aquecimento solar de água:** o cobre tem ótima condutividade térmica e por isso é empregado nas placas dos coletores solares e no revestimento interno dos boilers
- **Tecnologias modernas:** o cobre é 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

O USO MUNDIAL DO COBRE REFINADO

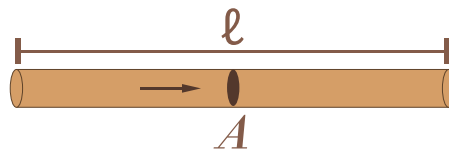
Mil toneladas métricas - Fonte: ICSG



3.3 O COBRE NA ÁREA ELÉTRICA

O cobre detém inúmeras características que o definem como o elemento metálico ideal a ser utilizado para a condução de energia elétrica, principalmente devido à sua resistividade elétrica e condutividade térmica.

A 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 ρ e sua unidade é o ohm.m (Ωm).



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 (Ω). [2]

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

ρ é a resistividade elétrica do material (Ωm)

R é a resistência elétrica do condutor (Ω)

ℓ é o comprimento do condutor (m)

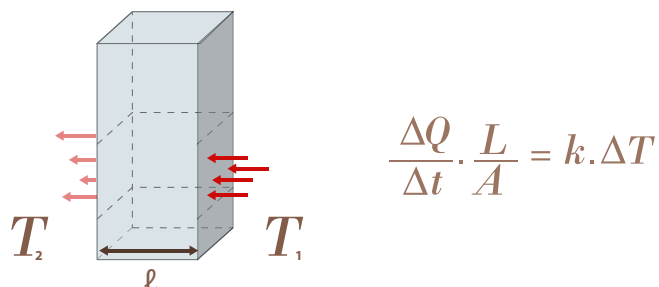
A é a área da seção do condutor (m^2)

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 ΔT unitária entre as extremidades longitudinais. O inverso da condutividade térmica é a resistividade térmica. [3]

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



Unidades:

ΔQ em joule (J)

Δt em segundo (s)

L em metro (m)

A em metro quadrado (m²)

ΔT em kelvin (K)

Graças à sua resistividade elétrica e condutividade térmica, desde os primórdios da eletricidade o cobre e suas ligas têm sido usados no desenvolvimento e fabricação de inúmeros produtos, como fios e cabos, motores, transformadores, geradores, dispositivos de comando e proteção, componentes elétricos e eletrônicos, etc.

Aliás, foi a utilização do cobre na área elétrica que impulsionou o seu uso pelo homem. O cobre alcançou sua real dimensão como metal imprescindível para o desenvolvimento industrial em 1831, quando Michael Faraday descobriu a indução eletromagnética, que é o princípio por trás do gerador e do transformador elétrico. Deste momento em diante, a demanda pelo metal cresceu de forma notável.

Como um dos melhores condutores de eletricidade conhecidos, naturalmente o cobre também desempenha um importante papel no universo das energias renováveis. Suas excelentes propriedades elétricas e térmicas atendem perfeitamente às necessidades da energia limpa, gerando e transmitindo eletricidade com eficiência máxima e um mínimo impacto ambiental.





SUSTENTABILIDADE

4. SUSTENTABILIDADE

4.1 COBRE: ELEMENTO ESSENCIAL PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL

Um dos desafios do século XXI é a busca contínua pela sustentabilidade em todas as áreas e setores que envolvem a atividade humana. E, nesse quesito, o cobre também exerce papel importante, com participação marcante em diversas aplicações.

Ecologicamente amigável, o cobre é um metal presente nas mais diversas ações de preservação ambiental, como na busca pela eficiência energética, na geração de energia renovável e na redução dos efeitos nocivos da emissão de CO₂ na atmosfera.

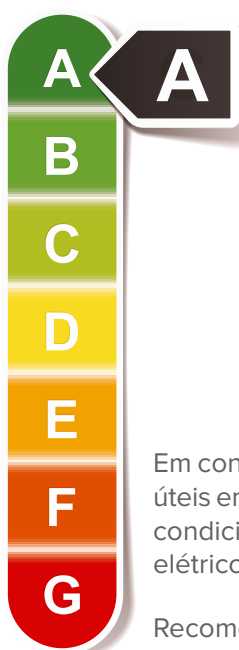
Uma característica altamente sustentável do cobre é que ele é 100 % reciclável e um dos poucos materiais que podem ser reciclados e reutilizados sem qualquer perda de desempenho. Quando reciclado, ele volta ao mercado nas mais variadas formas e aplicações, apresentando elevado grau de pureza e altíssimo valor agregado, tanto que pode ser reutilizado como o material original da mineração.



Atualmente, cerca de 9 milhões de toneladas de cobre são recicladas anualmente, o que significa que 35 % da demanda global de cobre são utilizados na forma de metal reciclado [4]. O processo de reciclagem do metal consome 85 % menos energia do que a sua produção. Isso representa uma economia anual de 100 milhões de MWh de energia elétrica e 40 milhões de toneladas de CO₂ que deixam de ser produzidos.

Outro apelo sustentável do cobre relaciona-se ao seu uso nas construções sustentáveis, também conhecidas como construções verdes. Esse tipo de edificação considera vários aspectos durante e depois da obra, incluindo os impactos econômico, social e ambiental. Essas construções são projetadas para serem eficientes em termos energéticos, reduzirem a poluição e minimizarem o desperdício de água.

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, destacando-se como opção para estruturas, reforços, revestimentos, coberturas, esquadrias, instalações elétricas, equipamentos de aquecimento e muitas outras aplicações.



Em construções sustentáveis, em particular, as qualidades do cobre são úteis em uma variedade de aplicações, incluindo seu uso em sistemas de condicionamento de ar, tubulação de água quente, fiação e dispositivos elétricos, nos sistemas de cogeração de energia, etc.

Recomenda-se como literatura relacionada a este item o *webinar* “O Portal da Eficiência Energética - Construções Sustentáveis” no site do ICA/Procobre [5].

4.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E FONTES LIMPAS DE ENERGIA

A crescente demanda por energia elétrica, verificada especialmente nas últimas décadas, colocou a busca por eficiência energética como tema fundamental para pessoas, empresas, cidades e países. Afinal, obter conforto e melhor rendimento com menor consumo de eletricidade só traz vantagens, seja pelo lado financeiro (economia na hora de pagar a conta), ou pelo lado ambiental (preservação dos recursos naturais e redução da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera).

Na busca por essa eficiência, o uso do cobre ajuda, e muito, começando pelo transporte de eletricidade. Graças à sua excelente capacidade em conduzir a corrente elétrica, o cobre colabora para evitar perdas de energia nas redes de transmissão e distribuição, tornando o sistema mais eficiente. Da mesma forma, o uso do cobre e suas ligas em equipamentos elétricos amplia seu nível de eficiência, oferecendo vantagens para usuários de todos os setores: comercial, industrial, residencial e público.

• A importância do cobre para insta



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



Fios e cabos de cobre são capazes de reduzir significativamente as perdas de energia contribuindo para a baixa emissão de CO₂.



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.



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, barramentos, 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
contribui para
um mundo
melhor.*

lações elétricas seguras e eficientes •



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.

Melhorar a eficiência energética contribui diretamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, principalmente quando a geração de energia decorre da queima de combustíveis fósseis.

Para dar uma ideia de grandeza nessa questão, vamos aos números. Alguns estudos apontam que, hoje, a eletricidade é o fator que mais contribui para a emissão de gases de efeito estufa no mundo. Estima-se que mais de 50 % das emissões de CO₂ são atribuídas ao consumo de eletricidade decorrente da geração de energia, tendo como base a queima de combustíveis fósseis [6].



Significa que o uso mais eficiente da energia pode levar à redução de consumo e, por consequência, à menor necessidade de geração através de fontes mais ‘sujas’, como o carvão e derivados de petróleo.

Nesse sentido, o cobre pode ser considerado um ‘material verde’, que desempenha um papel importante para tornar as redes de distribuição de energia e os dispositivos elétricos mais eficientes, reduzindo, automaticamente, as emissões de CO₂ na atmosfera.

Outra ação fundamental para reduzir a emissão de gases de efeito estufa é a substituição de fontes de energia poluentes pelas chamadas energias renováveis, ou limpas, como a eólica, fotovoltaica, biomassa e hídrica. Nesse caso, novamente o cobre aparece, visto que vários equipamentos utilizados na geração de energia através dessas fontes, como fios e cabos, geradores e transformadores, utilizam uma grande quantidade do metal, que colabora para a sua eficiência, segurança e longevidade. Além disso, o uso do cobre para transmitir a energia gerada por esses sistemas renováveis assegura a máxima eficiência e mínimo impacto ambiental no projeto.

A UTILIZAÇÃO DO COBRE

- Melhora a qualidade do meio ambiente e dos processos produtivos
- Colabora para a preservação ambiental, através da redução da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera
- Proporciona maior eficiência e ótima relação custo-benefício para equipamentos elétricos e seus sistemas elétricos
- Colabora para o desenvolvimento e eficiência das fontes de energia renováveis, como a fotovoltaica, eólica e hídrica



• Cobre: conduzindo energia

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



O baixo impacto ambiental deste metal e suas excelentes propriedades elétricas e térmicas atendem perfeitamente as necessidades da energia limpa.



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



Eólica
(ação dos ventos)



Fotovoltaica
(solar)



Hídrica
(usinas hidrelétricas)



Biomassa
(queima do bagaço da cana, por exemplo)

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

Na geração fotovoltaica, uma instalação doméstica de 2,5 kW pode consumir até

12 kg
de cobre



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

para um mundo sustentável. •



O funcionamento de uma turbina eólica de 2 MW requer o uso de

5 a 12
ton de cobre



Vantagens da energia sustentável para a sociedade:

✓
Reduz a
emissão de CO₂

✓
Naturalmente
renováveis

✓
São menos
poluentes

As energias renováveis, como a solar e a eólica, ajudam a combater o aquecimento do 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 19,7 % 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.

4.3 DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO E AMBIENTAL DOS CONDUTORES ELÉTRICOS

Na área elétrica, a busca por sistemas mais sustentáveis não ocorre apenas na fabricação de produtos e soluções. Um bom projeto e a aplicação bem executada também podem colaborar. Nesse sentido, ir além das orientações técnicas faz bastante sentido. E, na parte de cabos elétricos de cobre, temos uma norma que pode ser referência para o dimensionamento econômico e ambiental.

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 [7] e ABNT NBR 14039 – Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV [8].

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

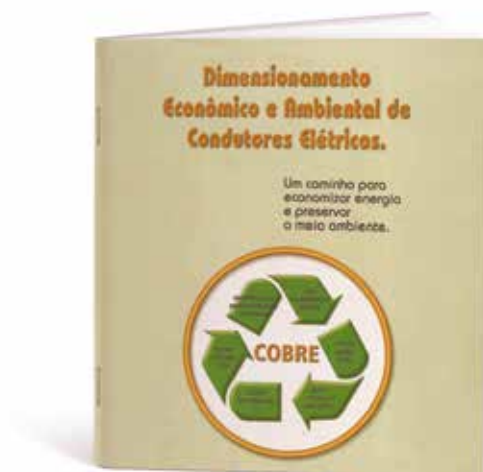
No entanto, quanto menor a seção do condutor, maior a sua resistência elétrica e maior a perda de energia (joule). Consequentemente, maior a emissão de CO₂ ao longo de sua vida útil. Para reduzir estas emissões a valores insignificantes, faz-se necessário aumentar a seção do condutor.



Esse aumento de seção 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 [9].

Tal conceito parece simples, mas é mais abrangente do que aparenta. Portanto, 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_2 é apresentada na publicação do ICA/Procobre Brasil intitulada “Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos” [10], disponível no site <http://leonardo-energy.org.br/>.



DEFINIÇÕES

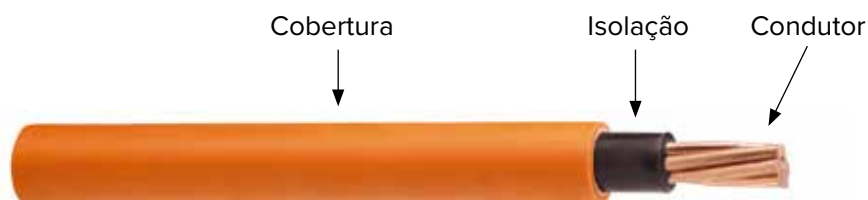
DADOS CONSTRUTIVOS DE UM
CABO ELÉTRICO DE POTÊNCIA

5. DADOS CONSTRUTIVOS DE UM CABO ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Os cabos elétricos de potência possuem componentes que devem cumprir funções específicas para que a potência elétrica seja conduzida de forma segura e com desempenho adequado. Dependendo da tensão nominal do circuito onde o cabo será instalado, sua construção terá mais ou menos componentes, uma vez que tensões mais elevadas requerem um confinamento mais rigoroso das linhas de campo elétrico.

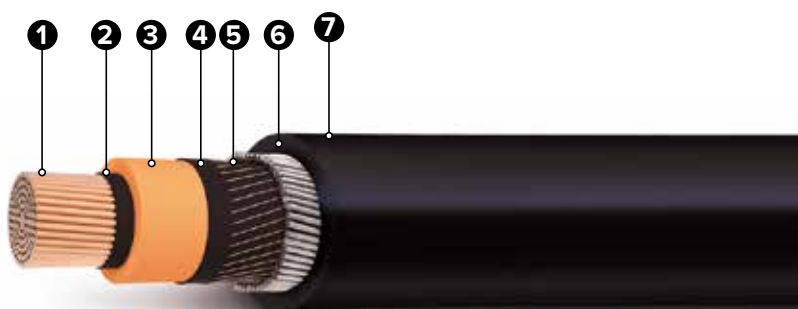
Os sistemas elétricos de baixa e média tensões são previstos para várias classes de tensão. Objetivando racionalizar a utilização de cabos e acessórios para esses sistemas, as seguintes tensões de isolamento são padronizadas para os cabos elétricos de potência (V_o/V): 450/750 V; 0,6/1 kV; 1,8/3 kV; 3,6/6 kV; 6/10 kV; 8,7/15 kV; 12/20 kV; 15/25 kV; 20/35 kV; 27/35 kV.

Os principais componentes de um cabo de baixa tensão estão indicados na figura a seguir:



Os principais componentes de um cabo de média tensão estão indicados na figura abaixo:

1. Condutor
2. Blindagem do condutor
3. Isolação
4. Blindagem da isolação
5. Blindagem metálica
6. Armação
7. Cobertura



A seguir são descritos os componentes dos cabos de potência de baixa e média tensão.

5.1 CONDUTOR

Condutores são os meios materiais que permitem facilmente a passagem de cargas elétricas. Metais como cobre e alumínio são os escolhidos para tal finalidade, tendo em vista seu custo e suas propriedades elétricas.

5.1.1 MATERIAL DO CONDUTOR

O cobre e o alumínio são os dois metais mais utilizados na fabricação de condutores elétricos, tendo em vista suas propriedades elétricas e mecânicas, bem como seu custo. No entanto, ao longo dos anos, o cobre tem sido o mais usado, sobretudo em condutores providos de isolação.

O cobre utilizado nos condutores é o cobre eletrolítico, com pureza de até 99,99 %. Esse tipo de cobre é obtido em lingotes que, por processo de laminação ou extrusão a quente, são transformados em vergalhões, que são produtos de seção maciça circular. Do vergalhão, os condutores são obtidos por “estiramento a frio”, que origina o cobre duro, ou por “recozimento”, que origina o cobre mole ou recozido; entre esses dois tipos, tem-se o cobre meio-duro.

O alumínio para condutores, com pureza de cerca de 99,5 %, é obtido normalmente por laminação contínua. Por meio de processos análogos aos do cobre, obtém-se o alumínio meio-duro. O uso desse metal baseia-se principalmente na relação condutividade/peso.

PROPRIEDADES - COBRE X ALUMÍNIO				
	Cobre		Alumínio	
Símbolo químico	Cu		Al	
Número atômico	29	-	13	-
Massa atômica	63,546 u	-	26,981 u	-
Densidade	8,91 g/cm ³	100 %	2,70 g/cm ³	30 %
Resistividade elétrica a 20 °C	0,017241 x 10 ⁻⁶ Ωm	100 %	0,027 x 10 ⁻⁶ Ωm	157 %
Condutividade térmica a 20 °C	397 W/(m·K)	100 %	230 W/(m·K)	58 %
Módulo de elasticidade	118 MPa	100 %	70 MPa	59 %
Coeficiente de expansão linear	17 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	100 %	23 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	135 %
Condutividade elétrica (%IACS)		100 %		61 %
Ponto de fusão	1.083 °C	100 %	660 °C	61 %
Estrutura cristalina	Cúbica de faces centradas	-	Cúbica de faces centradas	-
Tensão de ruptura (material recozido)	23 kgf/mm ²	100 %	4,9 kgf/mm ²	21 %
Limite de escoamento (σ=0,2 %)	7,0 kgf/mm ²	100 %	1,3 kgf/mm ²	19 %
Calor específico	0,092 Cal/g. °C	100 %	0,22 Cal/g. °C	234 %

ESTUDO SOBRE CONEXÕES DE CONDUTORES REALIZADO PELO POWERTECH LABS DE VANCOUVER, CANADÁ [11]

Objetivo: comparar o desempenho de conexões de cobre e alumínio nas instalações elétricas.

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

1. Estudo de corrosão acelerada

Para este estudo, foram realizados os seguintes tipos de conexões com diferentes seções de condutores:

- Entre dois condutores de alumínio através de conectores de alumínio de compressão
- Entre dois condutores de alumínio através de conectores de alumínio mecânicos
- Entre dois condutores de cobre através de conectores de cobre de compressão
- Entre dois condutores de cobre através de conectores de cobre mecânicos
- Entre dois condutores de cobre através de conectores de alumínio de compressão
- Entre dois condutores de cobre através de conectores de alumínio mecânicos

As conexões foram submetidas ao ensaio de corrosão por névoa salina em ciclos de 500 horas com aplicação de corrente elétrica em cada período. O critério de avaliação considerou a medição da resistência elétrica da montagem em corrente contínua a cada 170 horas, antes e após a aplicação da corrente elétrica. A duração total do ensaio foi de aproximadamente 2.000 horas.

CONCLUSÕES DO ESTUDO

a) Conectores de alumínio em condutores de alumínio:

40 % falharam; 10 % apresentaram um significativo aumento na resistência; 20 % apresentaram um moderado aumento na resistência; 30 % apresentaram uma diminuição na resistência

b) Conectores de alumínio em condutores de cobre:

40 % apresentaram um significativo aumento na resistência; 30 % apresentaram um moderado aumento na resistência; 30 % apresentaram uma diminuição na resistência

c) Conectores de cobre em condutores de cobre:

70 % apresentaram um pequeno aumento na resistência; 30 % apresentaram uma diminuição na resistência

Em resumo, todas as conexões em cobre tiveram um desempenho melhor do que as conexões em alumínio no ensaio de corrosão acelerada.

2. Comparação entre desempenho do cobre e alumínio com conectores mecânicos em relação ao envelhecimento térmico acelerado

Para este estudo, foram realizados os seguintes tipos de conexões mecânicas com diferentes seções de condutores:

- Entre dois condutores de alumínio através de conectores bimetálicos (alumínio/cobre) mecânicos
- Entre dois condutores de cobre através de conectores bimetálicos (alumínio/cobre) mecânicos
- Entre dois condutores de cobre através de conectores de cobre mecânicos

As conexões foram submetidas ao ensaio de envelhecimento térmico acelerado conforme Normas ANSI C119.4 (para montagem) e IEC 61238-1 para análise dos resultados. Foram realizados 1.500 ciclos de aquecimento/resfriamento, com aplicação de curto-circuito no ciclo 270 e medição de resistência elétrica a cada 100 ciclos.

CONCLUSÕES DO ESTUDO

- a) todas as amostras com condutores e conectores de cobre tiveram o melhor desempenho
- b) amostras de condutores de cobre com conectores de alumínio tiveram desempenho ruim
- c) todas as amostras com condutores de cobre ou alumínio com conectores de alumínio tiveram o pior desempenho

3. Comparação entre desempenho do cobre e alumínio com conectores de compressão em relação ao envelhecimento térmico acelerado

Para este estudo, foram realizados os seguintes tipos de conexões por compressão com diferentes seções de condutores:

- Entre dois condutores de alumínio através de conectores de alumínio por compressão
- Entre dois condutores de cobre através de conectores de cobre por compressão

As conexões foram submetidas ao ensaio de envelhecimento térmico acelerado conforme Normas ANSI C119.4 (para montagem) e IEC 61238-1 para análise dos resultados. Foram realizados 1.500 ciclos de aquecimento/resfriamento, com aplicação de curto-circuito no ciclo 270 e medição de resistência elétrica a cada 100 ciclos.

CONCLUSÕES DO ESTUDO

- a) todas as amostras com condutores e conectores de cobre tiveram o melhor desempenho
- b) amostras de condutores de alumínio com conectores de alumínio com aplicação de produto inibidor de oxidação tiveram desempenho adequado
- c) amostras de condutores de alumínio com conectores de alumínio que tiveram o condutor lixado antes da aplicação do conector tiveram o mesmo desempenho das amostras que não tiveram o condutor lixado
- d) amostras de condutores de alumínio com conectores de alumínio sem aplicação de produto inibidor de oxidação e sem lixar o condutor antes da aplicação do conector tiveram o pior desempenho

4. Ensaio de tração (deformação)

Para este estudo foram preparados corpos de prova de cobre, alumínio e liga de alumínio, em diferentes seções, que foram submetidos a esforço de 20 Mpa por 7 horas, a 100 °C, para alongá-los até a ruptura.

CONCLUSÕES DO ESTUDO

As amostras de cobre sempre tiveram desempenho melhor do que as amostras de alumínio.

A seguir, são apresentados alguns aspectos comparativos entre o cobre e o alumínio [12]:

- **Condutividade:** o alumínio apresenta uma condutividade de cerca de 60 % da do cobre. Assim, para dada capacidade de condução de corrente, é necessário usar um condutor de alumínio com seção nominal 1,67 vez maior que a seção do condutor de cobre.
- **Densidade:** a densidade do alumínio é de 2,7 g/cm³ e a do cobre de 8,91 g/cm³. A relação entre as densidades e as condutividades mostra que 1 kg de alumínio realiza o mesmo “trabalho elétrico” que cerca de 2 kg de cobre.
- **Oxidação:** quando exposta ao ar, a superfície do alumínio fica recoberta por uma camada invisível de óxido, de características altamente isolantes e de difícil remoção. Nas conexões com alumínio, um bom contato só será conseguido com a ruptura dessa camada. Com efeito, a principal finalidade dos conectores utilizados, de pressão e aparafusados, é a de romper o filme de óxido. Uma vez removida a camada inicial, costuma-se usar, durante a preparação de uma conexão, compostos que inibem a formação de uma nova camada de óxido. O cobre, com relação a esse aspecto, é bem superior ao alumínio.
- **Escoamento:** por ser mais mole que o cobre, o alumínio escoia com pequenas pressões. Por esse motivo, os conectores usados em condutores de alumínio devem ter as superfícies de contato grandes o suficiente para distribuir as tensões e evitar danos no local do condutor a ser comprimido. Por sua vez, é indispensável o reaperto periódico dos conectores, afrouxados pelo escoamento, para evitar a formação de óxido, que eleva a resistência elétrica da conexão, provocando o seu aquecimento. Para o condutor de alumínio, as conexões devem atender às Normas ABNT NBR 9513, ABNT NBR 9313 e a ABNT NBR 9326.
- **Eletropositividade:** o alumínio e o cobre estão separados eletroquimicamente por 2 V. Essa diferença de potencial é responsável pela predisposição da conexão cobre-alumínio (ou liga de cobre – liga de alumínio) à corrosão galvânica. Devem-se utilizar conectores especiais para evitar a ocorrência da corrosão galvânica.

Dos aspectos comparativos apresentados, pode-se chegar a algumas conclusões, a seguir elencadas [12]:

- Em instalações em que as linhas possuam muitas conexões, não são realizadas manutenções periódicas e/ou são utilizados componentes com liga de cobre em seus pontos de contato (por exemplo, interruptores, tomadas de corrente, etc.), geralmente os condutores de cobre (condutores e/ou cabos isolados) são os mais recomendados.
- Em locais da alta salinidade, tais como em regiões litorâneas, os condutores de cobre são recomendáveis.

5.1.2 FORMAÇÃO DO CONDUTOR

Conforme a Norma ABNT NBR NM 280:2011 [13], os condutores são classificados quanto à sua formação em:

● **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.

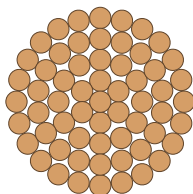
● **Cabo:**



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 conceito do encordoamento aumenta a flexibilidade e facilita o manuseio e a instalação.

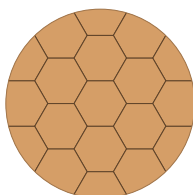
Os condutores podem ter os encordoamentos com as seguintes configurações [14]:

● **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.

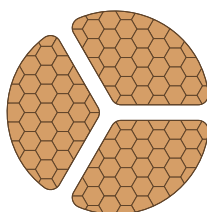
● **Condutor encordoado circular compactado:**



Após a formação da corda ocorre sua compactação, o que provoca uma redução significativa de seu diâmetro, uma vez que os espaços vazios são substancialmente

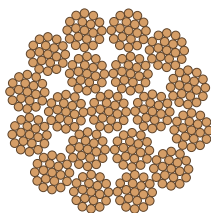
reduzidos. Como resultado desta compactação, os cabos isolados apresentam:

- 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 denominados de feixes (ou cochas). As cochas encordoadas constituirão um condutor composto.

Este tipo de encordoamento oferece excelente flexibilidade ao cabo, sendo utilizado tanto nas instalações elétricas fixas, facilitando a enfição, quanto em equipamentos que possuem movimentação durante o seu funcionamento.

5.1.3 CLASSE DE ENCORDAMENTO

Os condutores podem ser reunidos em diversas formas distintas 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

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*), sendo de uso frequente nos países do MERCOSUL (Anexo B – Tabela 4 da Norma ABNT NBR NM 280:2011).

Para exemplificar, a tabela a seguir apresenta a formação de um condutor com a seção nominal de 10 mm² para as várias classes de encordoamento existentes.

CONDUTOR - SEÇÃO NOMINAL DE 10 MM ²		
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 anterior 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.

As tabelas a seguir, reproduzidas da Norma ABNT NBR 5349, mostram as características dos condutores classes 2, 4, 5 e 6. Vale esclarecer que, para as classes flexíveis (4, 5 e 6), o número de fios elementares pode variar dependendo do fabricante, uma vez que a respectiva Norma não define a quantidade de fios, definindo apenas a resistência elétrica máxima do condutor e o diâmetro máximo dos fios elementares.

CABOS DE CLASSE DE ENCORDOAMENTO 2

Seção Nominal (mm²)	Número de fios		Resistência elétrica máxima, em c.c., a 20 °C (Ω/km)	
	Cabo Não Compactado	Cabo Compactado	Fios Nus	Fios Revestidos
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 ¹⁾	- 2)	- 2)	0,0129	0,0129
1600	- 2)	- 2)	0,0113	0,0113
1800 ¹⁾	- 2)	- 2)	0,0101	0,0101
2000	- 2)	- 2)	0,009	0,009

¹⁾ Seções não recomendadas

²⁾ Número mínimo de fios não especificado

CABOS DE CLASSE DE ENCORDAMENTO 4, 5 E 6					
Seção Nominal (mm ²)	Diâmetro máximo dos fios (mm)			Resistência elétrica máxima, em cc., a 20 °C (Ω/km)	
	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Fios Nus	Fios Revestidos
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.

5.1.4 SEÇÃO NOMINAL DOS CONDUTORES

A série métrica (mm²) passou a ser utilizada no Brasil em 1982, quando se adotou o padrão da *International Electrotechnical Commission* (IEC). Neste sistema, a seção nominal do condutor é definida em função da resistência elétrica máxima e complementada por outras características (como quantidade mínima de fios ou diâmetro máximo dos fios que a compõem), não tendo relação direta com as dimensões geo-

métricas do condutor (área, raio, diâmetro). Como resultado do sistema métrico, as seções padronizadas são nominais, ou seja, embora tenham valores muito próximos das seções transversais dos condutores, não possuem exatamente essas dimensões. Por exemplo, um condutor de seção nominal $1,5 \text{ mm}^2$, pode ter uma seção transversal de $1,48$ ou $1,52 \text{ mm}^2$ (valores apenas para exemplificar, sendo que valores reais devem ser consultados nos catálogos dos fabricantes).

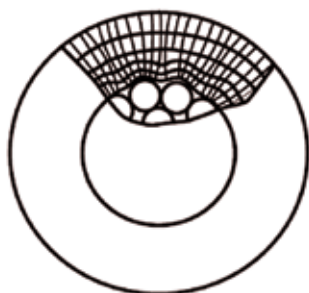
As seções nominais típicas mais utilizadas em cabos de potência são as seguintes (em mm^2): 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500.

5.2 BLINDAGEM DO CONDUTOR (APENAS PARA CABOS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO)

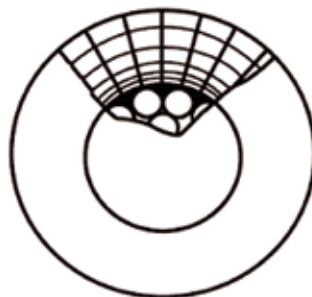
A blindagem do condutor é constituída por uma camada de material semicondutor aplicada diretamente sobre o condutor metálico. Ela tem como principal finalidade dar uma forma perfeitamente cilíndrica ao condutor e eliminar espaços vazios entre o condutor e a isolação.

Quando um condutor encordoado de um cabo de média ou alta tensão não possui essa blindagem (Figura abaixo), o campo elétrico gerado pela tensão elétrica aplicada no condutor assume uma forma distorcida, acompanhando a superfície irregular do condutor, o que provoca uma concentração de linhas de campo elétrico 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 ou até falhas.

Se não houvesse a presença da blindagem semicondutora do condutor preenchendo os espaços vazios, o ar existente entre o condutor e a isolação – formado quando da extrusão da isolação – seria ionizado pela ação do campo elétrico, ocorrendo então descargas parciais que degradariam o material isolante até a sua perfuração.



Condutor sem Blindagem



Condutor com Blindagem

5.3 ISOLAÇÃO

Isolação é o material ou conjunto de materiais isolantes aplicados sobre o condutor para isolá-lo eletricamente do ambiente onde está instalado e dos outros condutores que o circundam.

Os materiais isolantes sólidos são os mais utilizados nos cabos de baixa e de média tensão. Possuem diversas características comuns, porém, cada tipo possui propriedades específicas cujo conhecimento é determinante na escolha do material. A seguir, são apresentadas as características comuns [15]:

- **Homogeneidade da isolação e boa resistência ao envelhecimento em serviço:** os cuidados sempre crescentes com a homogeneidade e com a eliminação de vazios nesses materiais isolantes fazem que sejam reduzidos ao mínimo os riscos de envelhecimento por causas elétricas. Outros mecanismos de envelhecimento, por causas químicas ou térmicas, podem apresentar-se, mas são eficazmente combatidos por uma formulação adequada das misturas.
- **Ausência de escoamento:** sendo sólido o isolante, o risco de escoamento é mínimo mesmo na posição vertical.
- **Reduzida sensibilidade à umidade:** os isolantes sólidos praticamente não absorvem a umidade.
- **Insensibilidade às vibrações:** os cabos com isolação sólida geralmente são insensíveis às vibrações.
- **Bom comportamento ao fogo:** a resistência à propagação do fogo pode ser garantida por composições adequadas de isolantes sólidos, e a atenuação de propagação pode ser obtida com o uso de isolações especiais e por uma construção judiciosa do cabo.

Os três materiais isolantes sólidos mais utilizados nos cabos de potência são o PVC (termoplástico), o EPR (ou HEPR) e o XLPE (termofixos), que possuem temperaturas em regime permanente conforme tabela a seguir:

Categoria	Material da isolação	Operação em regime contínuo	Operação em sobrecarga	Operação em curto-circuito
Termoplásticos	PVC $\leq$ 300 mm ²	70 °C	100 °C	160 °C
	PVC > 300 mm ²	70 °C	100 °C	140 °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

Principais características dos materiais isolantes:

Cloreto de polivinila (PVC)

- É uma mistura de cloreto de polivinila puro (resina sintética), plastificante, cargas e estabilizantes.
- Sua rigidez dielétrica é elevada, porém, comparado com o polietileno, seu poder indutor específico é alto e sua resistência de isolamento mais fraca.
- Suas perdas dielétricas são elevadas, principalmente acima de 20 kV, limitando o seu emprego a sistemas de até 10 kV.
- Sua estabilidade química é considerável ante os produtos usuais. Misturas adequadas são muito pouco sensíveis à água.
- Transmite mal o fogo, mas sua combustão (em grande quantidade) provoca a produção de fumaça, gases corrosivos e tóxicos.
- O envelhecimento térmico pode ser eficazmente combatido por estabilizantes apropriados.
- É facilmente colorido com cores vivas.
- É um material isolante muito bom para os cabos de potência e para os cabos de transmissão a distância média.
- De modo geral, o fabricante pode formular a mistura para satisfazer às mais variadas exigências. Assim, pode-se conseguir, por exemplo, para as coberturas, uma fraca absorção de água e uma elevada resistência mecânica e à abrasão, um bom comportamento com relação ao fogo e resistência específica aos solventes ou à gasolina.

Borracha etileno-propileno (EPR)

- Os compostos de EPR são, em geral, reticulados por meio de peróxidos orgânicos. As misturas correspondentes têm, por conseguinte, a melhor resistência possível ao envelhecimento térmico e aos agentes oxidantes.
- Sua flexibilidade é muito grande, mesmo a temperaturas inferiores a 0 °C.
- Apresenta uma resistência excepcional às descargas e radiações ionizantes, mesmo a quente.
- Seu ângulo de perdas é bastante baixo para as misturas destinadas aos cabos de média tensão.
- Possui uma resistência à deformação térmica que permite temperaturas de 250 °C, durante os curtos-circuitos.

- Apresenta uma absorção razoável de umidade, que, no entanto, pode ser reduzida por meio de formulação adequada.
- Possui boa característica no que diz respeito ao envelhecimento térmico, o que permite conservar densidades de corrente aceitáveis quando os cabos funcionam em temperatura ambiente elevada.
- Apresenta baixa dispersão da rigidez dielétrica e é praticamente isento do *treeing* — fenômeno que consiste na formação de arborescências no material, provocando descargas parciais localizadas e sua consequente deterioração.
- A borracha EPR é considerada um ótimo isolante sólido. Há exaustiva experiência mundial e nacional de utilização desse material em baixa, média e alta tensões.
- A nomenclatura “EPR” é um nome genérico 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, conforme tabela abaixo.

Nomenclatura	Tipo de isolação	Nota
EPR	Borracha etileno-propileno	Temperatura em regime permanente 90 °C.
EPR 105	Borracha etileno-propileno de alto módulo	Temperatura em regime permanente 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 em regime permanente 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).

Polietileno reticulado (XLPE)

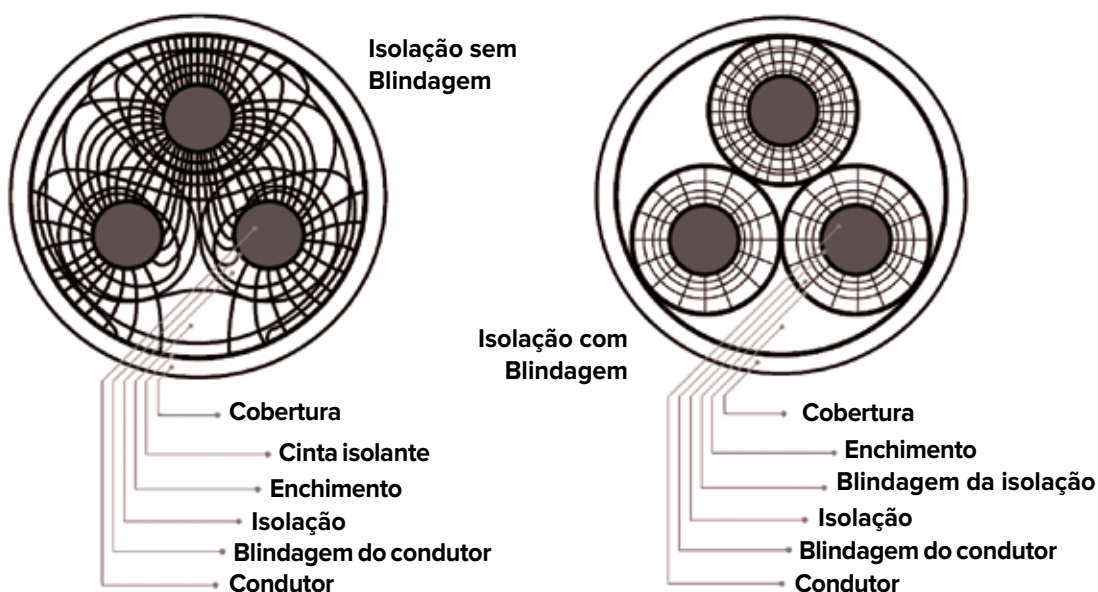
- A reticulação química do polietileno torna-o um material termofixo adequado à construção de isolações de cabos. O processo de reticulação consiste em criar, no interior do material, pontos intermoleculares estáveis por via química, com o auxílio de peróxidos orgânicos ou de moléculas de ligação especiais. Pode-se dizer que o polietileno sofre uma transformação interna análoga à da borracha quando vulcanizada.
- O material apresenta uma resistência à deformação térmica bastante satisfatória em temperaturas de até 250 °C.

- A reticulação faz desaparecer por completo a tendência à fissuração (*stress cracking*), apresentada pela resina original.
- A reticulação não modifica sensivelmente o bom comportamento do polietileno a baixas temperaturas e, por outro lado, reforça a estabilidade química.
- A reticulação do polietileno permite a incorporação de cargas minerais e orgânicas utilizadas para melhorar o comportamento mecânico, a resistência às intempéries e, sobretudo, o comportamento ao fogo.
- O XLPE é utilizado em cabos de baixa, média e alta tensões. Apresenta dispersão relativamente alta da rigidez dielétrica, bem como o fenômeno do *treeing*, que pode ser compensado pela correta formulação da mistura química.

5.4 BLINDAGEM DA ISOLAÇÃO E BLINDAGEM METÁLICA (APENAS PARA CABOS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO)

Consiste em duas camadas, sendo uma em material semicondutor e a outra em material condutor metálico, ambas aplicadas sobre a superfície da isolação. Sua finalidade principal é confinar e distribuir uniformemente o campo elétrico dentro do cabo isolado [15].

Na figura à esquerda, o cabo sem blindagem, isto é “o campo não radial”, apresenta distribuição irregular do campo elétrico; na figura à direita, o cabo blindado, denominado “campo radial”, apresenta campo elétrico distribuído de forma equilibrada e radial





em relação ao condutor. A construção do campo radial é preferível, principalmente, para tensões mais elevadas, uma vez que garante solicitações elétricas uniformes em cada camada isolante (conjunto de pontos da isolação equidistantes do condutor). Da mesma maneira que a blindagem do condutor, a blindagem da isolação deve ser extrudada de modo a eliminar qualquer possibilidade de vazios entre ela e a superfície externa da isolação.

A camada condutora é constituída por fitas ou fios de cobre e fornece um caminho de baixa impedância para a condução das correntes induzidas provenientes das correntes de curto-circuito de outros cabos.

5.5 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 (*inter-locked*):** 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 nas 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 evitarem 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.

5.6 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 corrosivos durante eventual queima
- Estabilidade térmica
- Resistência a agentes químicos e ambientais
- Flexibilidade

Os compostos termoplásticos para as coberturas são os seguintes:

ST1	Composto à base de policloreto de vinila ou copolímero de cloreto de vinila, para temperatura no condutor menor ou igual a 80 °C
ST2	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
ST3	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
ST7	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

Os compostos termofixos para as coberturas são os seguintes:

SE1/A	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
SE1/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

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.	

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.

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:

● **Termoplástica**

Policloreto de vinila (PVC)

Polietileno (PE) e (HDPE)

Poliuretano

Polipropileno (PP)

Poliâmidas (PA)

Poliolefinas não halogenadas com baixa emissão de fumaça e de gases tóxicos (LSHF)

● **Termofixa**

Polietileno clorossulfurado (CSP) - Hypalon

Policloropreno (PCP) – Neoprene

5.7 COMPORTAMENTO DOS CABOS ELÉTRICOS EM RELAÇÃO AO FOGO E FUMAÇA

Durante a ocorrência de incêndio, um cabo elétrico pode ser um elemento propagador de fogo e emissor de fumaça devido aos vários tipos de compostos utilizados em sua isolamento e cobertura, e pode ser assim classificado:

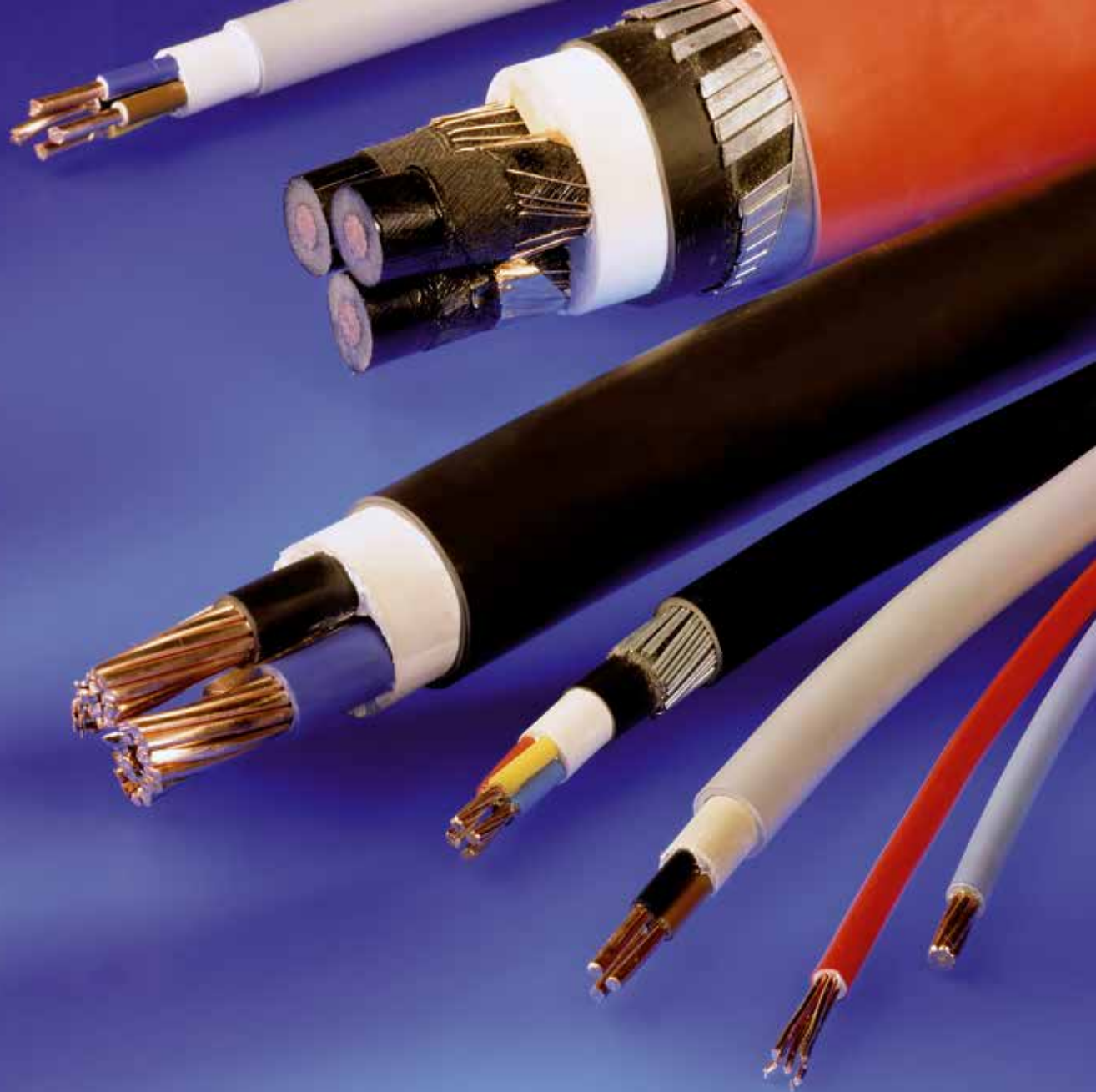
- **Cabo propagador de chama:** quando for submetido a uma ação direta da chama, por um curto intervalo de tempo, ele entrará em combustão e manterá a chama mesmo após ela ser retirada.
- **Cabo não propagador de chama:** a chama não se propaga e irá se auto extinguir quando acabar a causa que a gerou.
- **Cabo resistente à chama:** a chama não se propaga e irá se auto extinguir 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 em regime permanente sob exposição à chama direta (750 °C).

Características relativas às chamas de alguns compostos:

Propagador de chama	Polietileno termoplástico – PE
Não propagador de chama	Policloreto de vinila – PVC
Resistente à chama	Poliolefina não halogenada e PVC aditivado
Resistente ao fogo	Compostos especiais

- **Cabos com baixa emissão de fumaça e de gases tóxicos e corrosivos:** a obtenção da propriedade de resistência à chama, ou seja, a propriedade de não propagação do fogo sob condições simuladas de incêndio (queima vertical) é, em muitos casos, conseguida à custa da utilização de compostos halogenados (à base de cloro, bromo e flúor), que são incombustíveis. No entanto, cabos que empregam esses materiais geram fumaça e gases tóxicos e corrosivos, o que os tornam inadequados para uso em locais de circulação e de concentração de público e edificações de grande altura. Tais cabos utilizam materiais especificamente desenvolvidos para essa finalidade, que devem ser construídos e ensaiados segundo a Norma ABNT NBR 13248 - Cabos de potência e controle e condutores isolados sem cobertura, com isolamento extrudado e com baixa emissão de fumaça para tensões até 1 kV - Requisitos de desempenho.





APLICAÇÃO

A ENGENHARIA DE APLICAÇÃO
DOS CABOS ELÉTRICOS

6. 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. A relação “fabricante-cliente” – tendo como foco a engenharia de aplicação – fortalece de forma saudável esse vínculo, de modo a resultar na troca de experiências positivas para ambas as partes, o que faz com que o fabricante busque soluções técnicas para uma determinada situação de projeto e com que o cliente utilize um produto que atenda integralmente ao seu projeto, garantindo um desempenho adequado.

Resumidamente, pode-se sinalizar passos básicos para o início de um processo de engenharia de aplicação de cabos elétricos:

- Identificar uma necessidade para a especificação de um cabo.



- Elaborar uma descrição técnica (de modo mais completo possível), informando também 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.

6.1. COMO REDIGIR A ESPECIFICAÇÃO DE UM CABO ELÉTRICO

As principais características que devem ser incluídas na especificação de um cabo elétrico são as seguintes:

- Tipo do condutor (metal, nu ou estanhado, têmpera, tipo e classe de encordoamento).
- Classe de tensão.
- Número de condutores e seção nominal (em mm²).
- Blindagem do condutor (quando cabo de média tensão).
- Tipo de isolamento (material).
- Temperatura em regime permanente, sobrecarga e curto-circuito.
- Blindagem da isolamento – Parte não metálica (quando cabo de média tensão).
- Blindagem da isolamento – Parte metálica (fio e/ou fita de cobre + têmpera + seção em mm²) (quando cabo de média tensão).
- Armação (quando for o caso).
- Cobertura (indicar material).
- Cor da cobertura externa (quando for cabo unipolar ou multipolar).
- Identificação das veias isoladas ou do condutor isolado.
- Gravação.
- Norma de fabricação.
- Características técnicas especiais (quando for o caso).

- Tipo de acondicionamento (conforme ABNT NBR 11137) e comprimento do lance em metros.
- Ensaaios (rotina, especiais ou tipo).
- Tipo de inspeção – a) com inspetor no local da produção; b) não haverá inspeção, sendo necessário o envio de relatórios juntamente com o produto; ou c) outra forma de inspeção.
- Garantia.

O exemplo a seguir indica um modelo de especificação técnica para uma solicitação de cotação de um cabo de média tensão:

Descrição do produto

Cabo elétrico com condutor de cobre estanhado, têmpera mole, redondo compacto, classe de encordoamento 2, 3 x 50 mm², 12/20 kV, blindagem do condutor com camada semicondutora aplicada por extrusão, isolamento com composto termofixo de XLPE para temperatura em regime permanente de 90 °C, temperatura em sobrecarga de 130 °C, temperatura em curto-circuito 250 °C, blindagem da isolamento com camada semicondutora aplicada por extrusão (retirada a frio) e fios de cobre nu com têmpera mole de seção nominal 6 mm², 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 e ensaiado conforme Norma ABNT NBR 7287 - Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de isolamento de 1 kV a 35 kV – Requisitos de desempenho.

Característica especial

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.

Ensaaios

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

Inspeção

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

Garantia

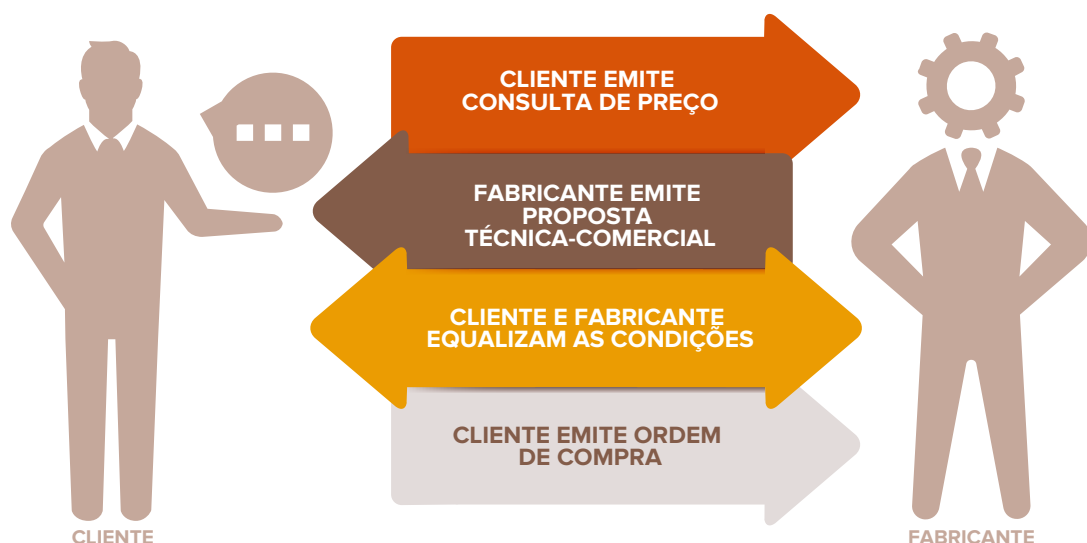
O período de garantia deve ser de 18 meses da compra ou 12 meses da instalação, prevalecendo o prazo que primeiro ocorrer.

6.2 SUGESTÕES PARA ENRIQUECER A RELAÇÃO ENTRE CLIENTE E FABRICANTE

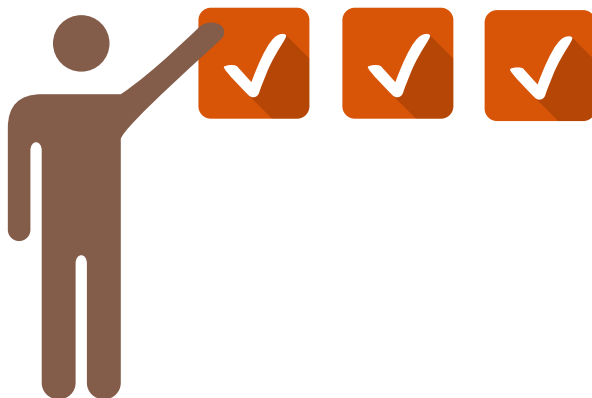
Para a correta especificação de um cabo elétrico deve-se considerar os aspectos técnicos abordados até aqui. Contudo, há outros aspectos que merecem atenção e devem ser observados para que os processos de consulta de preço do cliente, proposta do fabricante de cabo, emissão de ordem de compra do cliente e produção e entrega do cabo pelo fabricante sejam processados sem intercorrências que venham a prejudicar o cumprimento do prazo de entrega, o que resultaria em prejuízo para 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, com as eventuais dúvidas e discrepâncias devidamente esclarecidas.

Fluxo adequado de informações entre o cliente e fabricante:



A tabela a seguir apresenta os itens que merecem atenção especial pelo fato de ocorrerem com certa frequência no mercado quando da emissão de consultas de preço e ordens de compra:



SITUAÇÕES	CONSEQUÊNCIAS
- Informar um lance(s) ou a quantidade total de cabo errado ou estimado. - Informar a quantidade total de cabo como sendo o comprimento do circuito (circuitos trifásicos). Ou seja, 1.000 m de cabo onde o correto seria 3.000 m. - Comunicar ao fabricante, após vários dias da emissão da ordem de compra, a correção do(s) fato(s) acima.	- Necessidade de nova produção. - Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente. Motivos do não atendimento: - Se a nova quantidade for maior, o fabricante poderá não ter matérias-primas em estoque e os seus fornecedores não conseguirem agilizar a entrega. - Caso a nova quantidade seja menor, o fabricante poderá não ter como atender, pois não desejará ficar com matéria-prima não consumida em estoque ou, eventualmente, a quantidade reduzida seja menor do que a quantidade mínima de fornecimento do fabricante. - O fabricante poderá ter dificuldades em mudar seu planejamento de produção devido aos compromissos com demais ordens de compra em andamento.
Lance grande	- Pode gerar bobina com dimensão muito grande e peso significativo, gerando problemas no recebimento do produto: - Dificuldades para descarregar a bobina. - Cavelete não suporta as dimensões e peso da bobina.
- Informar a tolerância do lance errada. - Comunicar ao fabricante, após vários dias da emissão da ordem de compra, uma correção de tolerância.	- Necessidade de nova produção. - Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente. Motivos do não atendimento: - 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).
Informar a tolerância do lance de um circuito trifásico que não seja real ou deixar de informá-la.	Fornecimento com um lance inadequado ou com o padrão do fabricante e, conseqüentemente, poderá não atender ao comprimento necessário para as fases do circuito trifásico devido às tolerâncias de fabricação gerarem lances distintos.
Informar a unidade de medida equivocada (o padrão do mercado é: “cabos de cobre nu” em quilograma e “cabos isolados” em metro).	Produção equivocada em termos de quantidade podendo resultar em necessidade de nova produção e atrasos na entrega.

SITUAÇÕES	CONSEQUÊNCIAS
Devido à falta de planejamento no momento da emissão da consulta de preços e ordem de compra, as quantidades, descrições de produtos e a indicação de normas técnicas são informadas equivocadamente.	- Geralmente, esta situação é percebida somente no momento do recebimento do material. - Necessidade de nova produção. - Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
Informar a cor de cobertura ou isolamento (cabo sem cobertura) que não seja um padrão de fornecimento do fabricante.	- Necessidade de negociação entre cliente e fabricante. - Risco de não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
Emitir ordem de compra sem observar eventuais comentários e conteúdo da proposta técnica-comercial do fabricante de cabos.	- Necessidade de renegociação entre cliente e fabricante. - Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
- Informar que haverá inspeção somente próximo à data do faturamento, uma vez que, equivocadamente, não ter sido informada na ordem de compra. - Agendar inspeção em dias e horários não coordenados com o fabricante.	- Fabricante não terá tempo hábil para o planejamento da inspeção, bem como, funcionário disponível para o recebimento do inspetor devido às inspeções de outras ordens de compra. - Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
- Local de entrega do material não tem o CNPJ estabelecido. - Não indicar eventuais incentivos fiscais obtidos.	- Gerar faturamento equivocado ou a impossibilidade de efetuar o faturamento e entrega do material. - Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
Cancelamento de ordem de compra de cabos a serem produzidos (produtos que não fazem parte da política de estoque do fabricante).	Muitos fabricantes não aceitam o cancelamento deste tipo de ordem de compra (dependendo do momento do cancelamento) por já terem adquirido as matérias-primas necessárias.



MERCADO

APLICAÇÃO DE PRODUTOS NAS
INSTALAÇÕES DE INDÚSTRIAS
DE PAPEL E CELULOSE

7. APLICAÇÃO DE PRODUTOS NAS INSTALAÇÕES DE INDÚSTRIAS DE PAPEL E CELULOSE

7.1 A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

A indústria de Papel e Celulose ocupa posição de destaque na economia brasileira, tanto em relação ao abastecimento do mercado interno, quanto às exportações. Atualmente, o Brasil conta com um parque instalado de aproximadamente 20 fábricas integradas – unidades industriais que produzem celulose e papel na mesma planta. Sem contar as unidades especializadas apenas em papel ou celulose. Essas plantas colocam o país entre os principais produtores mundiais nessa área.

Dados divulgados pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), apontam que, em 2017, a produção brasileira de celulose foi de 19,5 milhões de toneladas, montante 3,8 % superior ao de 2016. Nesse volume de produção são considerados o processo químico de fibra curta (eucalipto) e longa (pinus) e a pasta de alto rendimento. [16]

Principais produtores mundiais de celulose - 2016 [17]

	País Country	Produção Milhões (t) Production Millions (t)
1º	EUA / USA	48,5
2º	Brasil / Brazil	18,8
3º	Canadá / Canada	17,0
4º	China / China	16,8
5º	Suécia / Sweden	11,1
6º	Finlândia / Finland	10,3
7º	Japão / Japan	8,7
8º	Rússia / Russia	8,0
9º	Indonésia / Indonesia	6,8
10º	Chile / Chile	5,1

Fonte: IBÁ, SECEX, FAO E PÖYRY (2016)

No que tange à produção de papel, em 2017 o Brasil fabricou 10,5 milhões de toneladas, desempenho que representa avanço de 1,4 % na comparação com 2016.

Nesse montante, são considerados papéis para embalagem, para fins sanitários, para impressão, imprensa e papel cartão, entre outros tipos. [16]

Principais produtores mundiais de papel - 2016 [17]

	País Country	Produção Milhões (t) Production Millions (t)
1º	China / <i>China</i>	111,2
2º	EUA / <i>USA</i>	72,4
3º	Japão / <i>Japan</i>	26,2
4º	Alemanha / <i>Germany</i>	22,6
5º	Índia / <i>India</i>	15,0
6º	Coreia do Sul / <i>South Korea</i>	11,6
7º	Canadá / <i>Canada</i>	10,6
8º	Brasil / <i>Brazil</i>	10,3
9º	Finlândia / <i>Finland</i>	10,3
10º	Indonésia / <i>Indonesia</i>	10,2

Fonte: IBÁ, SECEX, FAO E PÖYRY (2016)

O bom desempenho produtivo de 2017 consolidou o Brasil como o segundo maior produtor mundial de celulose e o oitavo de papel. E também mantém o país como importante exportador desses insumos. Em 2017, o volume de celulose exportado pelo país atingiu 13,2 milhões de toneladas, enquanto que as exportações de papel somaram 2,1 milhões de toneladas.

Balança comercial do setor de papel e celulose no Brasil - US\$ milhões FOB [16]

Exportações / Export	2015	2016	2017
✓ Celulose / Pulp	5.603	5.575	6.355
✓ Papel / Paper	2.021	1.871	1.913
Importações / Import			
✓ Celulose / Pulp	339	282	182
✓ Papel / Paper	958	738	838
Saído / Balance			
✓ Celulose / Pulp	5.264	5.293	6.173
✓ Papel / Paper	1.063	1.133	1.075

Fonte: Source SECEX/MDIC



Um ponto a ser destacado na indústria brasileira de Papel e Celulose diz respeito ao alto grau tecnológico de sua cadeia produtiva, desde o plantio até a produção final. Segundo artigo publicado recentemente no site do IBÁ, assinado por Carol Carquejeiro, a capacidade das empresas nacionais de produzir mais com menos e em menos tempo possibilita ao Brasil abastecer o mercado mundial de forma mais rápida e a preços mais competitivos, trazendo impactos positivos aos produtos derivados desta cadeia.

Ainda segundo este artigo, o Brasil se mantém no topo do ranking mundial de produtividade na área de Papel e Celulose - e não apenas em volume de produção. Isso ocorre graças à prioridade que as empresas nacionais dão à manutenção de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, buscando a melhoria da genética dos plantios, das técnicas de manejo florestal e da busca incessante por produtividade nas indústrias.

No que diz respeito aos investimentos nas fábricas, em particular, várias ações envolvem a aplicação de condutores de cobre – reformas, ampliações, novas unidades e busca por processos mais sustentáveis e eficientes. É sobre a escolha e aplicação desses fios e cabos de cobre que esse Guia trata nas próximas páginas, considerando todas as características das instalações industriais de Papel e Celulose.

7.2 VISÃO GERAL DOS CONDUTORES PARA UMA INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

A instalação elétrica de uma indústria de Papel e Celulose faz uso de inúmeros cabos de energia, controle, instrumentação, sinal, dados, etc. Dependendo da atividade realizada em cada área da indústria e, conseqüentemente, das influências externas presentes, esses cabos podem ser “usuais” ou “especiais”.

Cabos “usuais”

Os cabos “usuais” são aqueles indicados na Norma de instalações elétricas de baixa tensão (ABNT NBR 5410). São os casos dos condutores isolados em PVC, 450/750 V, ou dos cabos unipolares ou multipolares isolados em PVC, EPR ou XLPE, com cobertura, 0,6/1 kV. Esses cabos são instalados em condutos abertos ou fechados e operam em temperatura em regime permanente de 70 °C (isolação termoplástica) ou 90 °C (isolação termofixa).

São também exemplos de cabos “usuais” aqueles indicados pela Norma de instalações elétricas de média tensão (ABNT NBR 14039), que incluem cabos com isolações em PVC, EPR e XLPE, com tensões até 35 kV. Assim como na baixa tensão, esses cabos são instalados em condutos abertos ou fechados e operam em temperatura em regime permanente de 70 °C (isolação termoplástica) ou 90 °C (isolação termofixa).

Os cabos “usuais” são utilizados na indústria de Papel e Celulose nos circuitos de iluminação, força e sinal em áreas administrativas, de armazenagem de matérias-primas e produtos acabados, de manutenção e todos os demais locais sujeitos a temperaturas ambientes tipicamente na faixa de -5 °C a +60 °C, onde não há presença de influências externas severas.



Cabos “especiais”

Os cabos “especiais” para a indústria de Papel e Celulose são utilizados em áreas de produção, onde devem conviver com temperaturas extremas, óleos e vapores agressivos, impactos, abrasão, etc.

A fabricação de papel e celulose é um processo intensivo, que utiliza máquinas e processos específicos, cuja operação deve ser confiável, com a menor quantidade possível de paradas não programadas. Os custos de interrupção de produção nessa indústria são muito altos e, conseqüentemente, a infraestrutura que atende esses processos deve prover a segurança e continuidade necessárias.

O processo de produção de papel compreende três etapas [18]:

- A formação das florestas e seu corte
- A produção da celulose
- A produção do papel

A formação de florestas começa no viveiro, onde as mudas ali produzidas são, em geral, variedades de eucalipto que têm maior resistência a pragas e alta produtividade de celulose e melhor se adaptam ao clima das respectivas microrregiões onde serão plantadas. Um equipamento específico corta a árvore no pé, descasca e corta o tronco em toretes. Parte das cascas e folhas permanecem na floresta. Os toretes são transportados para a beira dos talhões de plantio por equipamentos específicos e dali são transportados em caminhões para a fábrica.



Os toretes são recebidos nas fábricas de celulose, onde são picados em cavacos. Os cavacos são então transferidos por esteira transportadora aos digestores, onde passam por um processo de cozimento com adição de sulfato de sódio e soda cáustica. Este processo de cozimento, designado processo "kraft", minimiza os danos às fibras da celulose, de forma a preservar sua uniformidade e resistência. Durante o cozimento, as fibras de celulose são separadas da lignina e resinas, quando então obtém-se celulose não branqueada. Numa fase de pré-branqueamento, a celulose é então lavada e submetida a um processo de deslignificação por oxigênio que, combinado com o processo kraft, remove aproximadamente 95% da lignina. A esta altura do processo, uma pequena parcela da fibra de celulose produzida é utilizada na produção de alguns tipos de papel-cartão. A lignina e os produtos resultantes do processo kraft compõem o chamado "licor negro", que é separado e enviado para evaporadores para elevar a concentração de sólidos e em seguida para uma caldeira de recuperação. Neste equipamento, o licor negro é utilizado como combustível para a produção de vapor e energia elétrica.

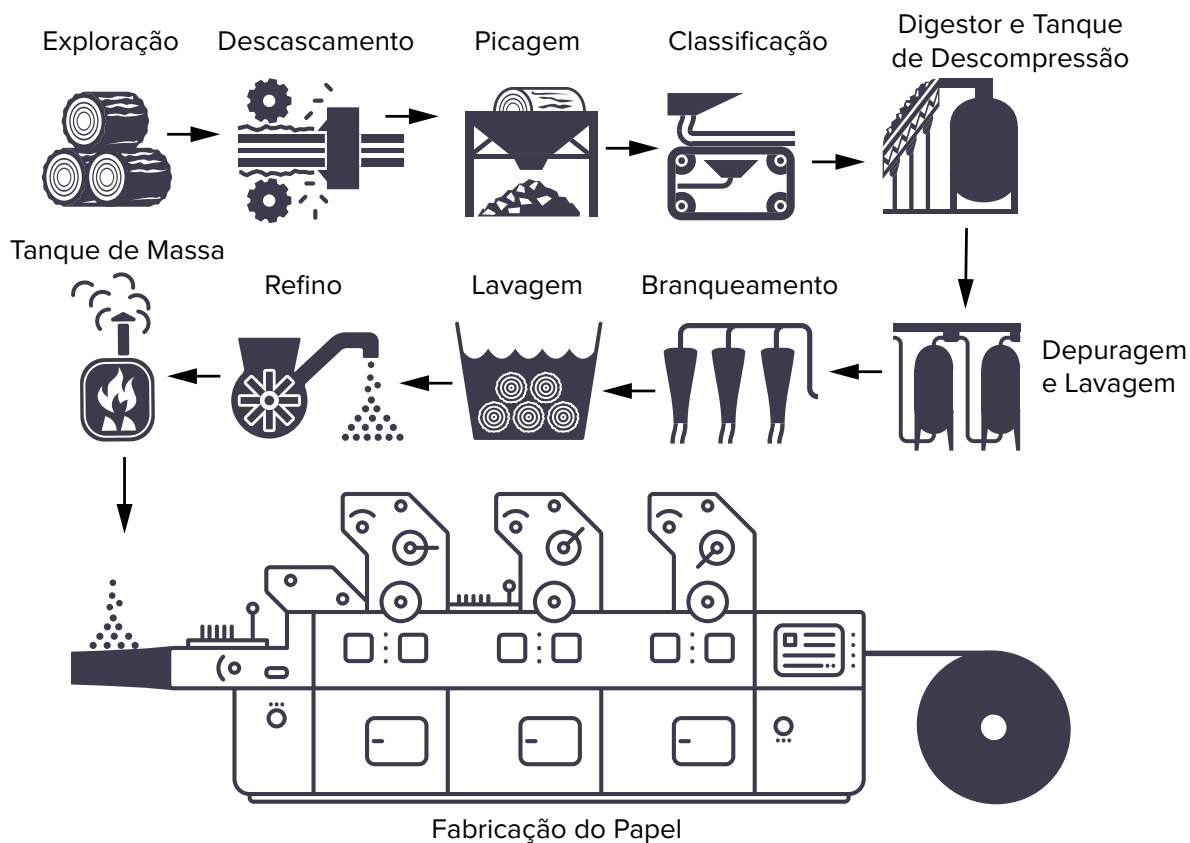
A próxima etapa do processo de produção de celulose de eucalipto é o processo de branqueamento químico. Para tanto, usa-se uma série de torres de branqueamento através das quais passa a celulose deslignificada. Cada torre de branqueamento contém uma mistura diferente de agentes branqueadores. A produção da celulose de eucalipto convencional é feita através de um processo que utiliza o cloro, dióxido de cloro e soda cáustica, ao passo que o processo de branqueamento "*Elemental Chlorine Free*", ou ECF, não utiliza o cloro elementar. Ao final desta etapa a celulose branqueada é transferida para torres de armazenagem ainda em forma líquida. A partir deste ponto, ela pode ser destinada diretamente para as máquinas de papéis.



Inicia-se a produção de papel encaminhando a celulose para refinadores, que aumentam o nível de resistência das fibras. Após o refino, a solução de celulose alimenta a máquina de papel, onde é misturada com materiais e outros aditivos, de forma a fornecer as propriedades demandadas pelos consumidores finais. Estes aditivos incluem cola sintética, carbonato de cálcio precipitado (o processo alcalino), alvejantes óticos e outros. Durante o processo de produção de papel e papel-cartão, a folha é formada, prensada e seca. Na etapa final do processo, rolos de papel de grande dimensão são convertidos em bobinas, papel formato fôlio e papel cut-size. No caso do papel revestido, o papel passa por tratamentos adicionais, com aplicações de tinta de revestimento em uma ou nas duas faces do papel dependendo do tipo de produto e acabamento, antes de ser cortado consoante as especificações do cliente.

A produção de papel e celulose demanda quantidades substanciais de água, que deve ser tratada com processos que incluem sedimentação e filtragem, entre outros, antes de ser utilizada no processo industrial. A água que resulta do processo como efluente deve ser novamente tratada antes de ser devolvida aos locais de captação. Este tratamento inclui a sedimentação para a remoção de sólidos, o tratamento biológico para a remoção de material orgânico, e uma sedimentação final para a remoção de sedimentos biológicos.

Processo de fabricação de papel e celulose





Como já citado anteriormente, em inúmeras etapas do processo de fabricação da celulose e papel são utilizados cabos elétricos de energia, controle e instrumentação, sinal, comunicação, etc. Dependendo do caso, estes cabos devem ser resistentes a uma ou mais influências externas, dentre as quais se destacam:

- Elevadas temperaturas
- Exposição à radiação ultravioleta (UV)
- Presença de vapor
- Presença de água
- Exposição a óleos, solventes (especialmente lixívia) e produtos químicos em geral (ácidos e alcalinos)
- Abrasão
- Flexão
- Tração
- Corte
- Impacto
- Bactérias, fungos e mofo
- Interferência eletromagnética

Assim, os cabos para aplicação na indústria de Papel e Celulose são especialmente projetados e construídos para suportar as influências externas agressivas a que estão submetidos e, para tanto, são fabricados com condutor de cobre ou suas ligas e materiais isolantes e de cobertura diferenciados dos cabos comuns.

7.3 NORMALIZAÇÃO TÉCNICA DE CABOS ESPECIAIS PARA A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

Não há Normas Técnicas brasileiras, internacionais ou estrangeiras específicas para cabos para a indústria de Papel e Celulose. Na maioria dos casos, os cabos especiais para esta indústria atendem aos requisitos de construção que fazem parte das especificações próprias de cada fabricante. Estas especificações, por sua vez, referem-se a métodos de ensaios que constam de Normas Técnicas nacionais ou internacionais. Por exemplo, um determinado cabo que tem os seus detalhes construtivos determinados pela especificação do fabricante é ensaiado em relação à propagação de chama de acordo com a Norma IEC 60332-3-21 [19].

7.4 RESISTÊNCIA À TEMPERATURA DE MATERIAIS DE ISOLAÇÃO E COBERTURA

Dentre as influências externas às quais os cabos para a indústria de Papel e Celulose estão expostos, as altas temperaturas são uma das mais importantes, determinando, muitas vezes, os requisitos básicos de construção desses cabos.

A tabela a seguir compara as temperaturas típicas dos materiais poliméricos extrudados mais utilizados como isolação ou cobertura na fabricação de condutores elétricos, incluindo formulações especiais.

Composto	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)
Polietileno clorossulfonado (Hypalon®)	- 40	+ 105
EPDM (Etileno Propileno Dieno Monômero)	- 55	+ 150
Neoprene	- 55	+ 90
Polietileno	- 60	+ 80
Polipropileno	- 40	+ 105
Borracha	- 55	+ 75
FEP (Etileno Propileno Fluorado) - Teflon®	- 70	+ 200
PVC	- 55	+ 105
Silicone	- 80	+ 200
ECTFE - Halar®	- 70	+ 150
ETFE - Tefzel®	- 65	+ 150
PTFE – Teflon®	- 70	+ 260
CPE (Polietileno Clorado)	- 45	+ 105
PVDF - Solef® / Kynar®	- 40	+ 150

Quando cabos elétricos devem operar em temperaturas mais altas do que as indicadas na tabela, utilizam-se então materiais especiais de isolamento e/ou cobertura, como fibra de vidro ou fibra têxtil mineral, que suportam centenas de graus em regime permanente.

7.5 RESISTÊNCIA DE MATERIAIS DE ISOLAÇÃO E COBERTURA A OUTROS ELEMENTOS

Além das altas temperaturas, os cabos especiais para a indústria de Papel e Celulose devem ser resistentes a outros elementos presentes no ambiente aos quais estão expostos e que são muito importantes na escolha dos materiais que vão ser utilizados na fabricação dos condutores.

A tabela a seguir compara as resistências típicas a diferentes agentes químicos dos materiais poliméricos extrudados mais utilizados como isolamento ou cobertura na fabricação de condutores elétricos, incluindo formulações especiais.

Composto	Resistência à/ao							
	oxidação	óleo	ozônio	abrasão	chama	água	ácido	solvente
PVC	O	R	O	R-B	O	R-B	B-O	P-R
LDPE	O	B-O	O	B	R	O	B-O	B
HDPE	O	B-O	O	O	R	O	O	B
Polipropileno	O	R	O	R-B	P	O	O	P
Nylon	O	O	O	O	P	P-R	P-R	B
CPE	O	O	O	O-E	O	O	O	O
FEP – Teflon®	E	E	O	O	E	O	O	O
ETFE - Tefzel®	O	O	O	O	B	O	O	O
PTFE – Teflon®	E	O-E	E	E	O	O	O	O
PVDF - Solef® / Kynar®	E	O	O	O	O	O	B-O	O
ECTFE - Halar®	E	E	O	O	O-E	O	O	O
Borracha	R	P	P	O	B	O	R-B	P
Neoprene	B	B	B	B-O	B	O	B	P-B
Hypalon®	O	B	O	B	B	O	O	P-R
EPDM	O	P	O	B	P	B-O	B-O	P
Silicone	O	R-B	E	P	R-B	B-O	R-B	P-B

Legenda da tabela:

P = pobre (ruim)	B = bom	E = excelente
R = regular	O = ótimo	

7.6 EXEMPLOS DE CABOS ESPECIAIS PARA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

A seguir são apresentados alguns exemplos de cabos especiais que podem ser aplicados nas instalações para indústrias de Papel e Celulose.

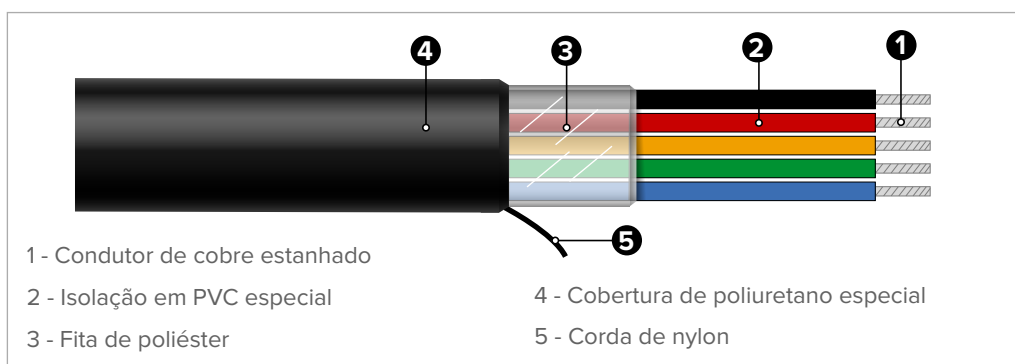
7.6.1 CABO DE ENERGIA 200 °C – 300/500 V PARA ALTAS TEMPERATURAS

Temperatura ambiente: - 70 °C até + 200 °C.



7.6.2 CABO DE ENERGIA 105 °C – 600 V MULTIPOLAR, RESISTENTE A ÓLEO E ABRASÃO

Temperatura ambiente: - 30 °C até + 105 °C.



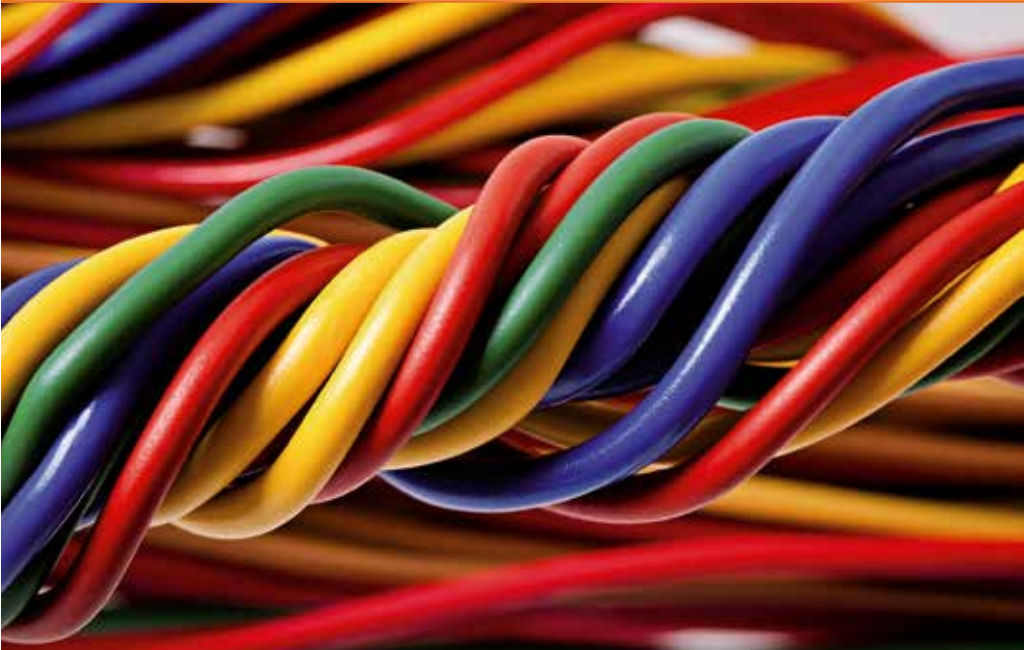
7.7 DIMENSIONAMENTO DE CABOS ESPECIAIS PARA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

O dimensionamento dos cabos “usuais” para aplicação em instalações de indústrias de Papel e Celulose deve ser realizado conforme as prescrições da Norma ABNT NBR 5410, no caso de baixa tensão, e pela Norma ABNT NBR 14039, no caso de média tensão.

Em relação aos cabos “especiais” para a indústria de Papel e Celulose, que operam em temperaturas elevadas, o dimensionamento deve ser realizado a partir das informações fornecidas pelos fabricantes dos produtos. A seguir são apresentadas algumas tabelas encontradas em literaturas de fabricantes de cabos resistentes ao calor.

Capacidade de corrente para cabos isolados em silicone, 200 °C - 500 V

Seção nominal (mm ²)	Capacidade de corrente (A)*
1,5	46
2,5	63
4	85
6	110
10	152
* Temperatura no condutor = 200 °C Temperatura ambiente = 30 °C	
Cabos com condutores de cobre nu Instalação ao ar livre	



Capacidade de corrente para cabos isolados em silicone, 300 °C - 750 V

Seção nominal (mm²)	Capacidade de corrente (A)*
1,5	57
2,5	78
4	106
6	138
10	190
16	258
25	342
35	428
50	530
70	653
95	798
120	917
150	1055
185	1200
240	1418

* Temperatura no condutor = 300 °C
Temperatura ambiente = 30 °C

Cabos com condutores de cobre nu
Instalação ao ar livre



Fatores de correção de capacidade para temperaturas ambientais (TA) diferentes de 30 °C, e diferentes temperaturas no condutor (TC)		
TC (°C)	200	300
TA (°C)	(4)	(5)
10	1,05	1,03
20	1,02	1,01
30	1	1
40	0,97	0,98
50	0,94	0,96
60	0,90	0,94
70	0,87	0,92
80	0,84	0,90
90	0,80	0,88
100	0,77	0,86
120	0,69	0,81
150	0,54	0,74
180	0,34	0,66
200		0,60
220		0,54
250		0,43
270		0,33
280		0,27

Exemplo:

- Determinar a capacidade de corrente de um cabo 6 mm², isolado em silicone, 200 °C - 500 V, considerando a temperatura ambiente de 150 °C.

Conforme tabela da página 77, a capacidade de corrente deste cabo para a temperatura ambiente de 30 °C é igual a 110 A. De acordo com a tabela de fatores de correção (acima), para temperatura ambiente de 150 °C e temperatura no condutor de 200 °C, o fator de correção é igual a 0,54. Daí resulta a capacidade de corrente a temperatura ambiente de 150 °C em: $110 \text{ A} \times 0,54 = 59,4 \text{ A}$.



8. CONCLUSÃO

O ICA /Procobre espera que este Guia tenha enriquecido o conhecimento dos leitores sobre a aplicação de cabos elétricos para aplicações na indústria de Papel e Celulose. No Brasil, a indústria de Papel e Celulose ocupa posição estratégica na economia, exercendo papel fundamental no desenvolvimento do país. O parque produtor de Papel e Celulose é formado por mais de 20 unidades fabris, que empregam milhares de pessoas, abastecem o mercado doméstico e movimentam as exportações.

Assim como observamos em outras cadeias industriais, a de Papel e Celulose também exige soluções e equipamentos de alto nível de performance, qualidade e segurança. Perfil que se aplica também aos condutores elétricos instalados nas plantas fabris.

Essa é a finalidade desse Guia, que foi elaborado para apresentar conceitos técnicos e características direcionadas ao projeto de cabos elétricos para instalações de indústrias de Papel e Celulose. O trabalho oferece, de forma simples e didática, alguns caminhos para a correta escolha e aplicação dos condutores elétricos a serem utilizados nessas instalações.

Importante observar que as instalações em indústrias de Papel e Celulose possuem necessidades específicas, que são plenamente atendidas pelos cabos elétricos de cobre. Entre elas podemos citar: a maior resistência à corrosão do condutor, resistência a elevadas temperaturas, maior resistência à torção e flexão, maior confiabilidade nas conexões elétricas e a possibilidade de utilizar cabos flexíveis para otimizar o espaço na instalação – qualidade que, além de facilitar o lançamento em longas distâncias em rotas não retilíneas, também visa aumentar a segurança e reduzir custos operacionais nas instalações.

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

O texto destaca ainda a importância da engenharia de aplicação e o cumprimento às Normas ABNT e outras aplicáveis, quando estas não existirem, indispensáveis para a correta elaboração do projeto e para a escolha adequada do produto e da instalação, objetivando eliminar falhas resultantes das divergências entre o projeto e as necessidades e particularidades da aplicação prática.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **Group, International Copper Study.** The World Copper Factbook 2015. 2015
- [2] **E. W. Weisstein.** “Resistivity,” [Online]. Available: <http://scienceworld.wolfram.com/physics/Resistivity.html>. [Acesso em 23 01 2016]
- [3] **Georgia State University.** “Thermal Conductivity,” 2016. [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/thercond.html>. [Acesso em 23 01 2016]
- [4] **International Copper Association.** “Meio ambiente e reciclagem,” 2015. [Online]. Available: <http://www.campanhacobresustentavel.com.br/index.php#blockrandom> [Acesso em 23 01 2016]
- [5] **Cutri, Prof. Dr. Rodrigo.** O Portal da Eficiência Energética - Construções Sustentáveis. [Online] [Citado em: 23 01 2016.] <http://leonardo-energy.org.br/wpdm-package/construcoes-sustentaveis/>
- [6] **Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.).** Climate Change 2007: Synthesis Report Synthesis Report. [Online] 2007. [Citado em: 23 01 2016.] www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf
- [7] **ABNT.** NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. 2004
- [8] **ABNT.** NBR 14039 — Instalações elétricas de média tensão 1,0 kV a 36,2 kV. 2005
- [9] **ABNT.** NBR 15920 — Cabos elétricos — Cálculo da corrente nominal — Condições em regime permanente — Otimização econômica das seções dos cabos de potência. 2011
- [10] **Moreno, Hilton.** Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos. s.l. : Procobre, 2010
- [11] **Tabarraee, Kamran.** Performance Comparison of Copper & Aluminum Wiring, Powertech, Canadá, abril de 2017
- [12] **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]

- [13] **ABNT.** ABNT NBR NM 280:2011 - Condutores de cabos isolados
- [14] **ABNT.** NBR 5349:1997 - Cabos nus de cobre mole para fins elétricos - Especificação. 1997
- [15] **Cotrim, Ademaro.** Instalações elétricas, 5ª edição. Pearson Prentice Hall. 2008
- [16] **IBÁ.** Cenários IBÁ – edição 44, janeiro de 2018. [Online]. Available: http://iba.org/images/shared/Cenarios/44_PDF_cenarios.pdf
- [17] **IBÁ.** Relatório 2017 – Indústria Brasileira de Árvores
- [18] **Companhia Suzano.** O Processo de Produção de Celulose e do Papel - <https://goo.gl/HzpGva>
- [19] **IEC.** IEC 60332-3-21 - Tests on electric cables under fire conditions - Part 3-21: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category A F/R, 2000

Realização:



**International Copper
Association Brazil**
Copper Alliance

Apoio:

