



Fios e Cabos de Baixa, Média e Alta Tensão

Eng. Marco Aurélio M. Saran
LAT-EFEI

Laboratório de Alta Tensão
Universidade Federal de Itajubá

Fios e Cabos Elétricos

■ **Objetivo:**

Conduzir com eficiência e segurança a energia elétrica entre dois pontos com diferentes potenciais elétricos, através da circulação de uma corrente elétrica

Resistência Elétrica

- Propriedade física dos materiais
- Resistência de corrente contínua:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

- ρ —————> **Varia com a temperatura**
(Alteração das características do material)
- S —————> **Varia com a frequência**
(Efeito Pelicular = Físico)
(Efeito Polarização = Propriedade Material)

Resistência x Eficiência

- Queda de Tensão

$$U=R.I$$

- Perda Joule (Aquecimento)

$$P=R.I^2$$

Materiais Condutores

- Ferro, Aço, Cobre, Alumínio, Prata, Ouro, Tungstênio, Chumbo, Estanho, Zinco, Mercúrio, Carbono, Grafite, etc...
- Mais comuns: Cobre, Alumínio
- Qual o melhor material condutor? Ouro?
 - Capacidade elétrica, térmica, mecânica, oxidação, manuseabilidade, fabricação, preço

Materiais Condutores

- Ligas:

Melhorar as características através da formação de um material composto

- Bimetálicos: Combinação de dois metais

- Termopares

- Corrosão Eletrolítica

- Disjuntores, Chaves Térmicas, Termostatos

- Alumínio-Aço, Cobre-Aço

Supercondutores

- À baixas temperaturas possuem resistência elétrica nula
- Metálicos reduzem resistência com queda de temperatura: Impurezas e defeitos impõe limite mínimo
- Cerâmicas especiais e ligas complexas atingem a supercondutividade a temperaturas próximas a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Atualmente algumas ligas apresentam supercondutividade a $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Já existem supercondutores funcionando comercialmente:
 - Material especial e de fabricação complexa
 - Temperatura exige resfriamento com nitrogênio líquido
 - Custo elevado de aquisição e manutenção
 - Aplicações especiais

Materiais Isolantes

- Prover proteção às pessoas e instalações, limitar o fluxo de corrente
- Materiais: Ar, papel, madeira, baquelite, óleo, vidro, cerâmica, PE, PVC, EPR, XLPE, borracha, EVA, nylon, silicone, SF6
- Escolha:
 - Capacidade Térmica
 - Nível de Isolação
 - Ambiente
 - Custo

Materiais Isolantes

- Divisão em classes, segundo a durabilidade térmica: Classes de Isolamento ou de Temperatura

Classe	O	A	E	B	F	H	-	C
Temperatura Limite	90	105	120	130	155	180	220	>220

Materiais Isolantes

- **Termoplásticos:**

Se deformam ou amolecem com o aumento da temperatura. Ex.: PVC, PE

- **Termofixos:**

Suportam a variação de temperatura até um certo limite sem deformação ou amolecimento. Ex.: EPR, XLPE

Fios Condutores

- Constituído por um único metal maciço, isolado ou não
- Para frequência nominal (50/60Hz) ou maiores ocorre o fenômeno do Efeito Pelicular, reduzindo a capacidade de condução
- Maior resistência mecânica
- Menor maleabilidade

Fios Condutores: Isolados

- Definidos pelas tensões Fase-Terra (U_0) e Fase-Fase (U) e pela capacidade de condução (mm^2)
- Exemplo: 3,6 / 6 kV 50 mm^2
- Ambos relacionados com a capacidade do condutor e da isolação

Cabos Elétricos

- Conjunto de fios encordados
- Maior flexibilidade, fácil manuseabilidade
- Podem ser:
 - Normais
 - Compactos
 - Unipolar, Multipolar
 - Multiplexado



Cabo Isolado x Cabo Coberto

■ Cabo Isolado

- Oferece proteção às pessoas e instalações
- Dois cabos podem se encostar
- Isolação dimensionada para suportar tensões elétricas presentes

■ Cabo Coberto

- Provê somente uma resistência de contato
- Não é isolado, oferecendo perigo de condução
- Função de proteção mecânica, não sendo dimensionado para suportar tensões nominais

Cabos Blindados x Não-Blindados

■ Blindagem:

- Função de reter e distribuir uniformemente o campo elétrico no cabo
- Evitar os problemas gerados pelo campo elétrico não-uniforme e intenso, que prejudicam a isolação
- Utiliza fios ou fitas metálicas condutoras
- Proteção contra perfurações e curto-circuitos, oferecendo um caminho à terra

Camada Semicondutora

- Função de preencher e uniformizar o campo nos espaços entre os condutores e a isolação e entre a isolação e a blindagem
- Impede a presença de ar
- Evita descargas em espaços internos
- Uniformiza o campo elétrico



Cobertura

- Função de proporcionar resistência mecânica à abrasão
- Proteção externa do conjunto do cabo

Armação Metálica: Armadura

- Normalmente de aço, chumbo ou ligas
- Objetivo: Fornecer uma maior resistência mecânica à tração e/ou perfuração, esforços transversais, golpes, proteção química e contra infiltração

Cabos Especiais

■ OPGW

- Núcleo de cabos de fibra ótica para comunicação, cobertas com camadas de fios de aço para resistência mecânica e camadas de fios de alumínio para condução e proteção do aço

■ Alumínio com Alma de Aço (CAA)

- Núcleo de fios de aço para resistência mecânica e camadas de fios de alumínio para condução e proteção do aço

■ Alumínio com Fibra ou Compostos Especiais

- Núcleo com fibra de vidro/carbono ou materiais compostos especiais para resistência mecânica e camadas de fios de alumínio para condução

■ Cobre-Aço (CCS), Alumínio-Aço (ACS)

- Aço recoberto com material de condução: inibe furto, resistência mecânica alta, inibe corrosão do aço



Fatores de Degradação

- Sub-dimensionamento dos fios/cabos
- Não observância das condições ambientes
- Exposição à substâncias danosas
- Umidade
- Temperatura
- Solicitações mecânicas excessivas
- Exposição à radiação solar: UV
- Descargas atmosféricas/Surtos de manobra
- Sobrecargas excessivas

Fenômeno da Arborização: “*Treeing*”

- Aparece devido a ação da água ou campo elétrico intenso, levando a ruptura e danos aos isolantes
- Ocorre devido a falhas na estrutura do material ou contaminações
- Produzem descargas parciais que levam à perfuração do isolante
- Problema encontrado em especial nos cabos de média e alta tensão

Dimensionamento

- O dimensionamento dos cabos deve atender a diversas condições de operação, como:
 - Condições de regime nominais permanentes
 - Correntes de curto-circuito
 - Tração mecânica
 - Agentes externos
 - Compatibilidade com a proteção
 - Queda de tensão
- Escolher a maior das seções calculadas

Ensaaios

- Aplicação de tensão nominal (1 min e 4 horas)
- Resistência de isolamento (20°C e 70°C)
- Impulso atmosférico
- Resistência elétrica do condutor
- Resistência à propagação de chama
- Ensaio sob chuva
- Aplicação de radiação UV

Normas: Especificações

- NBR5471: Condutores elétricos
- NBR9311: Cabos elétricos isolados – Designação
- NBR13249: Cabos e cordões flexíveis para tensões até 750 V – Especificação
- NBR9113: Cabos flexíveis multipolares, com isolamento sólida extrudada de borracha sintética para tensões até 750 V
- NBR10923: Instalação de cabos elétricos a bordo de embarcações
- NBR13248: Cabos de potência e controle e condutores isolados sem cobertura, com isolamento extrudada e com baixa emissão de fumaça para tensões até 1 kV - Requisitos de desempenho
- NBR13418: Cabos resistentes ao fogo para instalações de segurança
- NBR8661: Cabos de formato plano com isolamento extrudada de cloreto de polivinila (PVC) para tensão até 750 V - Especificação

Normas: Cabos de Potência e Controle

- NBR7285: Cabos de potência com isolação extrudada de polietileno termofixo (XLPE) para tensão de 0,6 kV/1 kV - Sem cobertura – Especificação
- NBR7286: Cabos de potência com isolação extrudada de borracha etilenopropileno (EPR) para tensões de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho
- NBR7287: Cabos de potência com isolação sólida extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de isolamento de 1 kV a 35 kV
- NBR7288: Cabos de potência com isolação sólida extrudada de cloreto de polivinila (PVC) ou polietileno (PE) para tensões de 1 kV a 6 kV

Normas: Cabos de Potência e Controle

- NBR7289: Cabos de controle com isolação extrudada de PE ou PVC para tensões até 1 kV - Requisitos de desempenho
- NBR7290: Cabos de controle com isolação extrudada de XLPE ou EPR para tensões até 1 kV - Requisitos de desempenho
- NBR9371: Cabos de potência com isolação sólida extrudada de polietileno termoplástico (PE) para tensões de (6 a 20) kV
- NBR9375: Cabos de potência com isolação sólida extrudada de borracha etilenopropileno (EPR) blindados, para ligações móveis de equipamentos para tensões de 3 kV a 25 kV

Normas ABNT: Ensaaios

- NBR6813: Ensaio de resistência de isolamento
- NBR6814: Ensaio de resistência elétrica
- NBR6881: Ensaio de tensão elétrica
- NBR7294: Ensaio de descargas parciais
- NBR7295: Ensaio de capacitância e fator de dissipação
- NBR7296: Ensaio de impulso atmosférico
- NBR7297: Ensaio de aquecimento cíclico
- NBR7578: Ensaio de tensão elétrica na cobertura
- NBR9512: Intemperismo artificial sob condensação de água, temperatura e radiação ultravioleta-B proveniente de lâmpadas fluorescentes
- NBR10537: Ensaio de centelhamento

Normas Mercosul

- NM247: Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive
- NM287: Cabos isolados com compostos elastoméricos termofixos, para tensões nominais até 450/750 V, inclusive
- NM274: Cabos flexíveis isolados com borracha de silicone unipolares sem cobertura e multipolares com cobertura, resistentes ao calor, para tensões nominais até 450/750 V, inclusive
- NM280: Condutores de cabos isolados