

Sistema Elétrico de Potência - SEP



Inst. Pablo Bosco



Desenvolvimento Industrial

SEP

Composição do SEP



SENAI

SEP

A segunda etapa do processo do SEP é a Transmissão , que propicia o transporte da energia produzida pelas usinas geradoras às diversas subestações de alteração de tensão.

A Transmissão é formada pelas Linhas de Transmissão, composta basicamente por torres e condutores.



SEP



O SIN é a interligação de todas as linhas de transmissão do país.

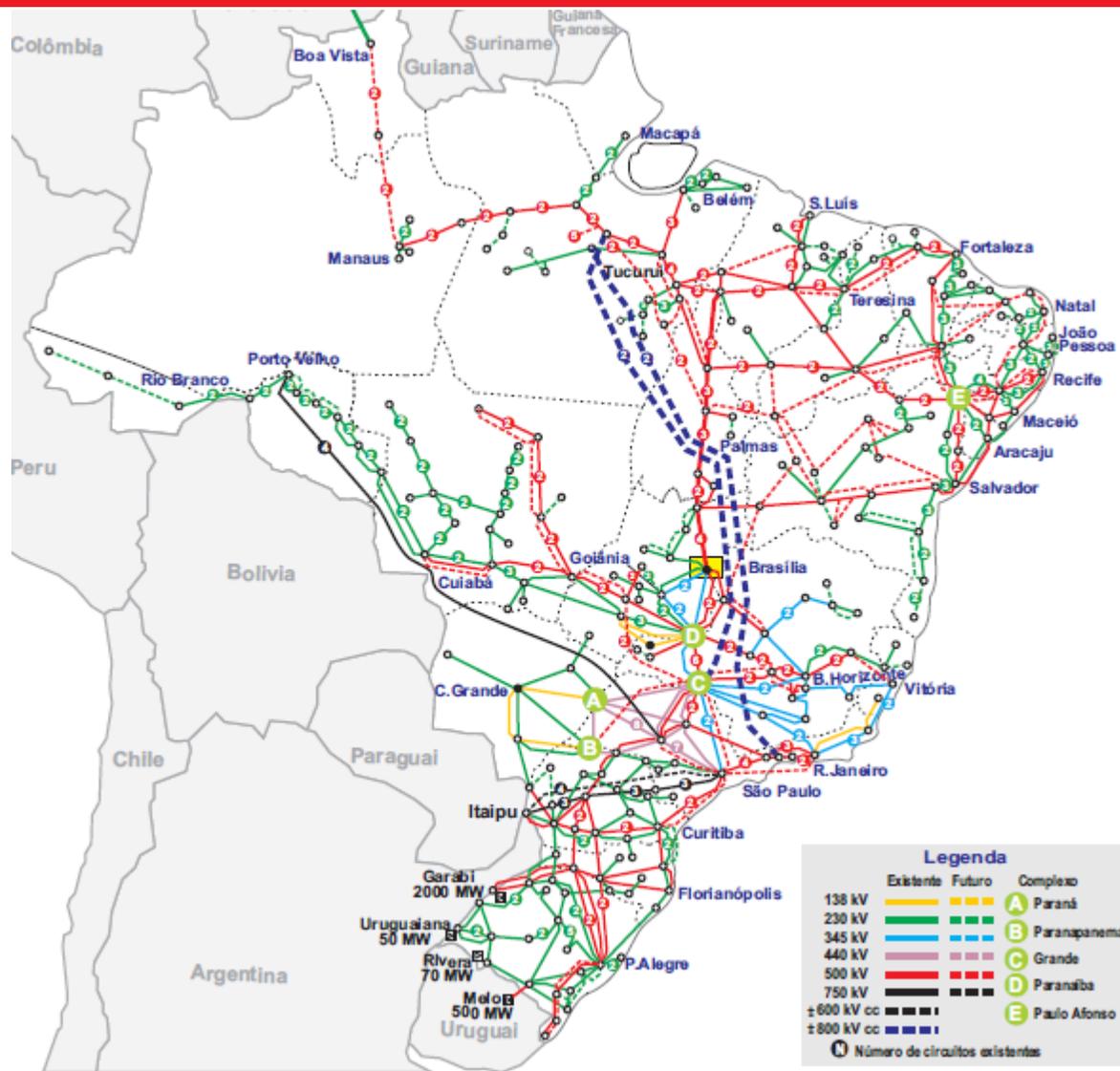


SEP

Atualmente quase todas as Linhas de Transmissão estão conectadas ao Sistema Interligado Nacional - SIN



SEP



SENAI

EXTENSÃO DA REDE DE TRANSMISSÃO

800 kV CC	2017 4.600 km	2023 9.636 km
750 kV	2017 2.683 km	2023 2.683 km
600 kV CC	2017 12.816 km	2023 12.816 km
500 kV	2017 47.750 km	2023 71.891 km
440 kV	2017 6.748 km	2023 6.969 km
345 kV	2017 10.320 km	2023 11.492 km
230 kV	2017 56.471 km	2023 69.997 km
TOTAL	141.388 km	185.484 km

Composição do Sistema de Transmissão

Como mencionado anteriormente o sistema é formado praticamente por torres e cabos.

A NBR 5422 – Projeto de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica, trata de todos os pontos para a construção e manutenção em torres de transmissão.



ABNT CATÁLOGO

Segurança, Qualidade, Padrão e Confiança



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Código

ABNT NBR 5422:1985

Código Secundário : ABNT/NB 182

Data de Publicação : 28/02/1985

Título : Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica

Comitê : ABNT/CB-003 Eletricidade

Páginas : 57

Status : Em Vigor

Idioma : Português

Organismo : ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Preço (R\$) : 195,30

Objetivo : Esta Norma fixa as condições básicas para o projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica com tensão máxima, valor eficaz fase-fase, acima de 38 kV e não superior a 800 kV, de modo a garantir níveis mínimos de segurança e limitar perturbações em instalações próximas.



SENAI

Inicialmente os projetos de Linhas de Transmissão visam a viabilidade técnico econômica, seguido por parâmetros construtivos: traçado da linha (obstáculos naturais e vias de acesso).

Estrutura ou Torre

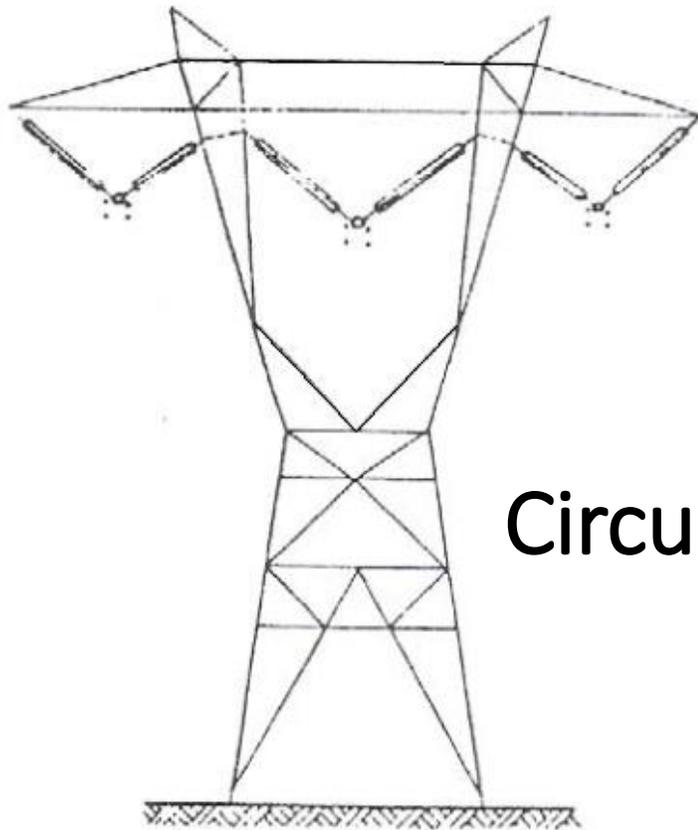
É o elemento suporte da Linha de Transmissão, sua finalidade é sustentar os cabos condutores de energia, cabo para raios e isoladores.



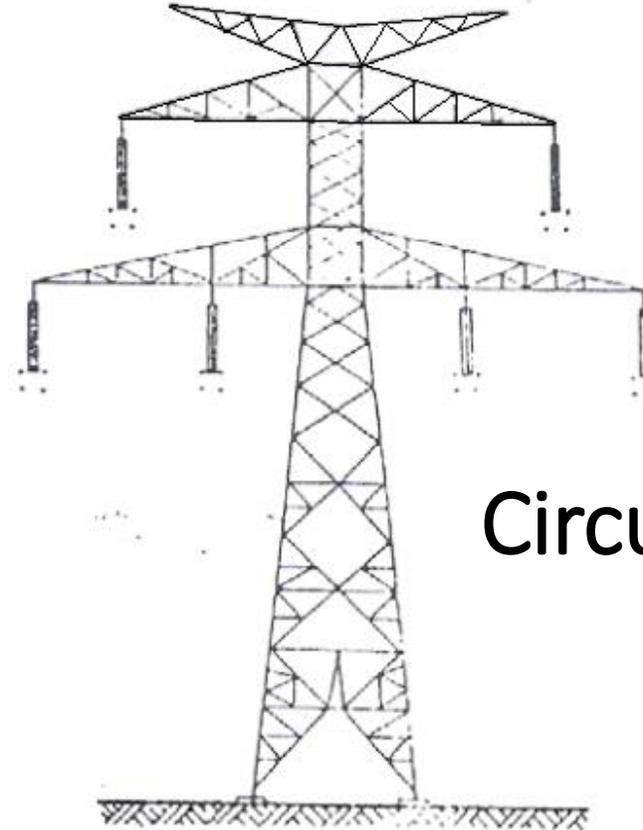
SENAI

Estrutura ou Torres

Entrelaçada Auto portante



Circuito simples

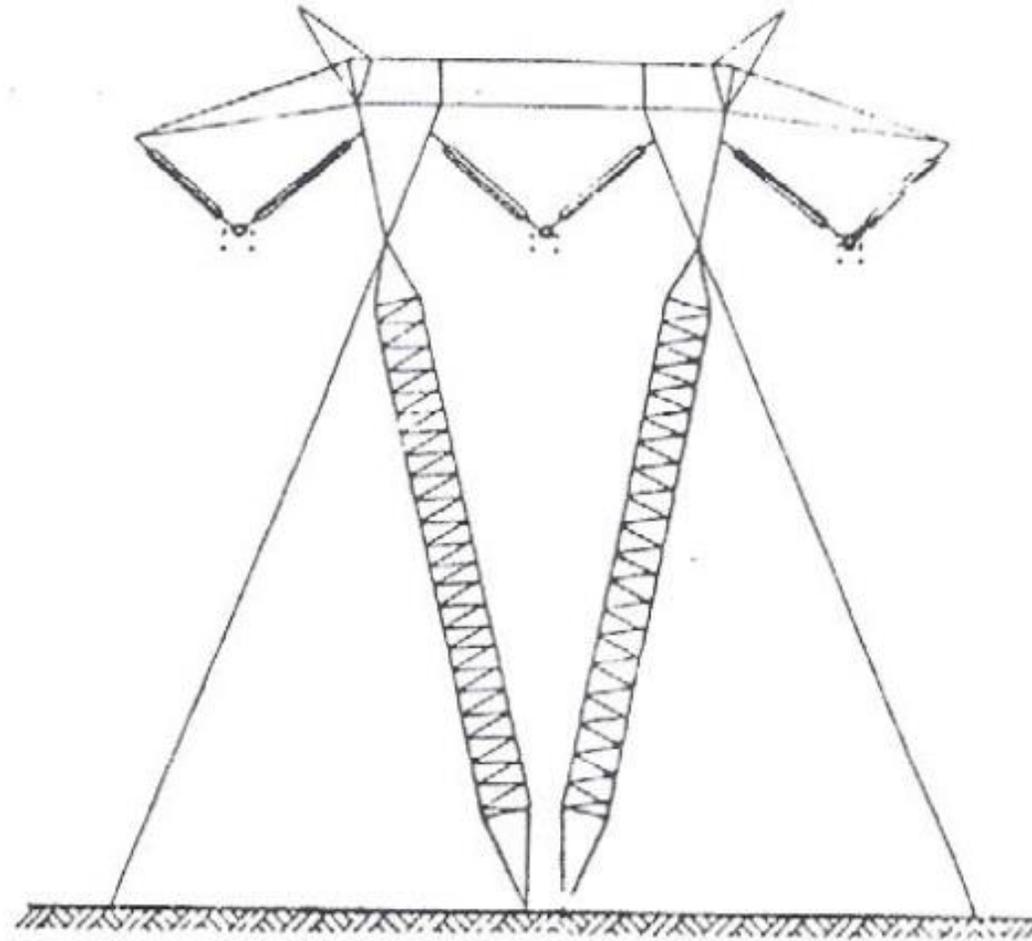


Circuito duplo



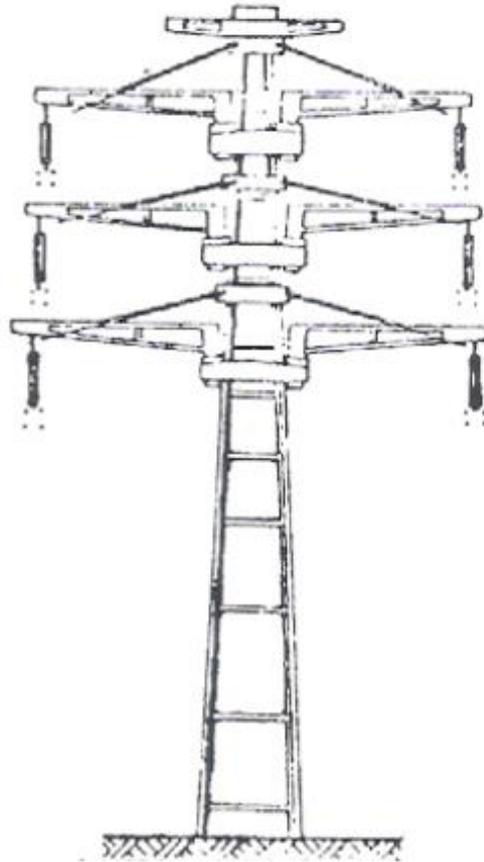
Estrutura ou Torres

Entrelacada Estaiada em V



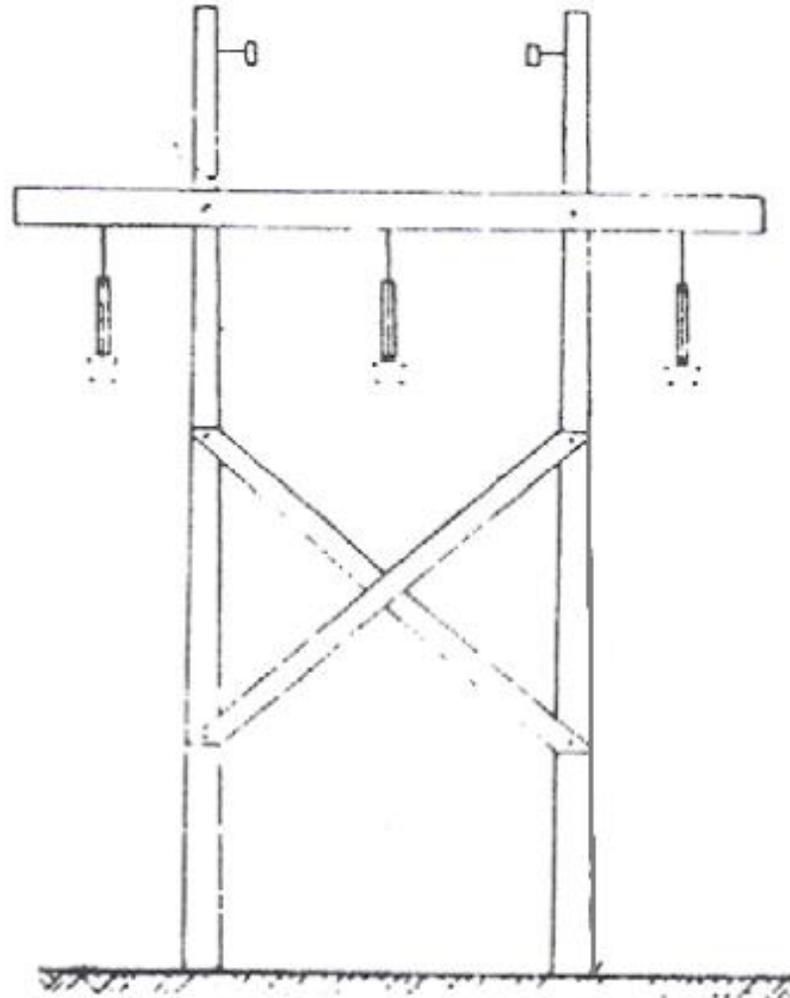
Estrutura ou Torres

Auto portante concreto



Estrutura ou Torres

Auto portante
madeira



Cabo condutor

O cabo condutor tem por finalidade transportar a energia elétrica. São formados por um conjunto de fios de alumínio nus, em sua grande maioria com uma alma de fio de aço.

**SENAI**

Cabo Condutor

Os cabos de alumínio usados nas L.T. são classificados em:

- AAC (all aluminum conductor) - cabo de puro alumínio;
- AAAC (all aluminum alloy conductor) - cabo de liga de alumínio de alta resistência;

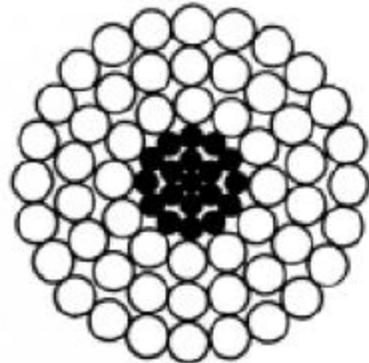


Cabo Condutor

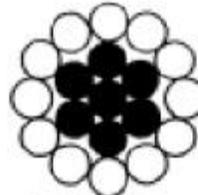
- ACSR (aluminum conductor steel reinforced) cabo de alumínio com alma de aço; e
- ACAR (aluminum conductor, aluminum alloy reinforced) cabo de alumínio com alma de liga de alumínio.

No Brasil o cabo mais empregado é o ACSR.

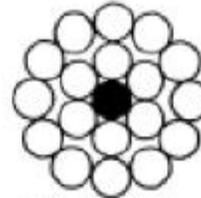




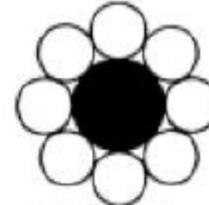
54 Al./19 Ac.
54 Al./19 St.



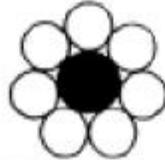
12 Al./7 Ac.
12 Al./7 St.



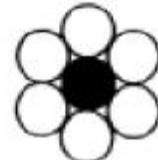
18 Al./1 Ac.
18 Al./1 St.



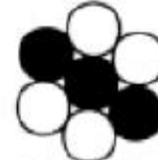
8 Al./1 Ac.
8 Al./1 St.



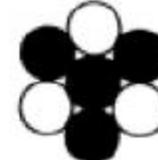
7 Al./1 Ac.
7 Al./1 St.



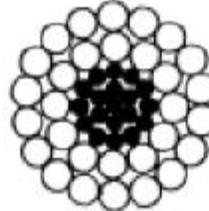
6 Al./1 Ac.
6 Al./1 St.



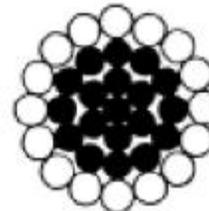
4 Al./3 Ac.
4 Al./3 St.



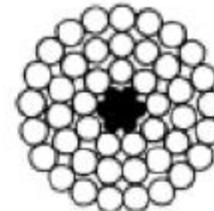
3 Al./4 Ac.
3 Al./4 St.



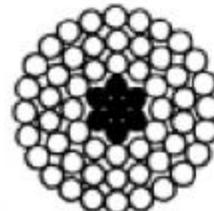
30 Al./19 Ac.
30 Al./19 St.



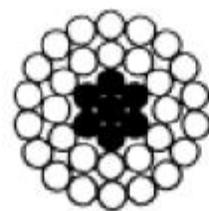
16 Al./19 Ac.
16 Al./19 St.



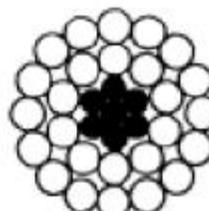
45 Al./7 Ac.
45 Al./7 St.



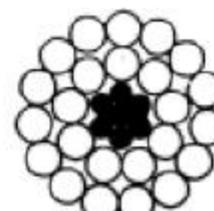
54 Al./7 Ac.
54 Al./7 St.



30 Al./7 Ac.
30 Al./7 St.



26 Al./7 Ac.
26 Al./7 St.



24 Al./7 Ac.
24 Al./7 St.

Cabo Condutor

A seção dos condutores de cabos de transmissão são dadas em AWG (American Wire Gauge - escala americana de bitolas de cabos).



Tabela de fios AWG

Número AWG	Diâmetro (mm)	Secção (mm ²)	Capacidade (A)
0000	11,86	107,2	319
000	10,40	85,3	240
00	9,226	67,43	190
0	8,252	53,48	150
1	7,348	42,41	120
2	6,544	33,63	96
3	5,827	26,67	78
4	5,189	21,15	60
5	4,621	16,77	48
6	4,115	13,30	38
7	3,665	10,55	30
8	3,264	8,36	24
9	2,906	6,63	19
10	2,588	5,26	15
11	2,305	4,17	12
12	2,053	3,31	9,5
13	1,828	2,63	7,5
14	1,628	2,08	6,0
15	1,450	1,65	4,8
16	1,291	1,31	3,7

Cabo Condutor

Segundo a 5422 a seção mínima para condutores de LT é:
4 AWG para condutores de alumínio e
6 AWG para condutores de cobre.



Cabo Condutor

Os condutores das LTs estão sujeitos a grandes esforços, mecânicos e elétricos, que são agravados pela sua exposição contínua no tempo.



Amortecedores

Além do próprio peso do condutor, ele sofre outros esforços mecânicos causados pelos ventos, levando o cabo a vibrações mecânicas.

O perigo das vibrações mecânicas

Vento provoca
queda de ponte



Amortecedores

Para eliminar as vibrações eólicas e de rotação são empregados nas LTs amortecedores.

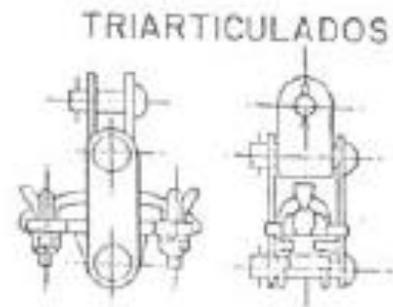
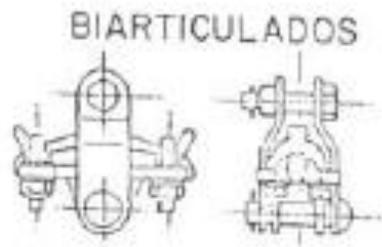
Os mais usuais são:

- Amortecedor passivo
- Grampos poliarticulados
Varilhas antivibratórias
Pontes antivibratórias



Amortecedores

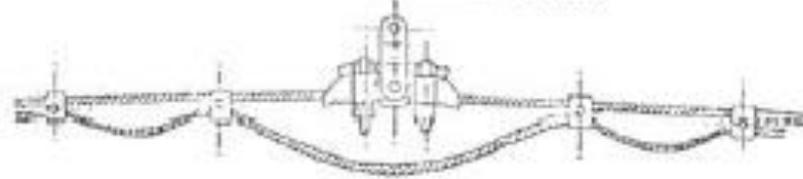
AMORTECEDORES PASSIVOS



VARILHA ANTI-VIBRATÓRIA



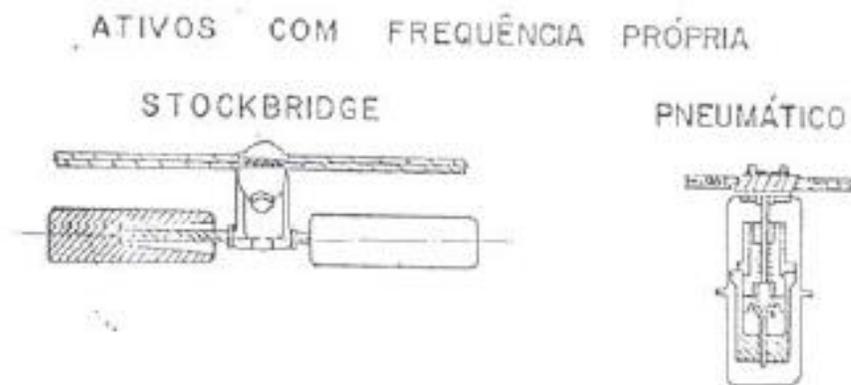
PONTE ANTI-VIBRATÓRIA



SENAI

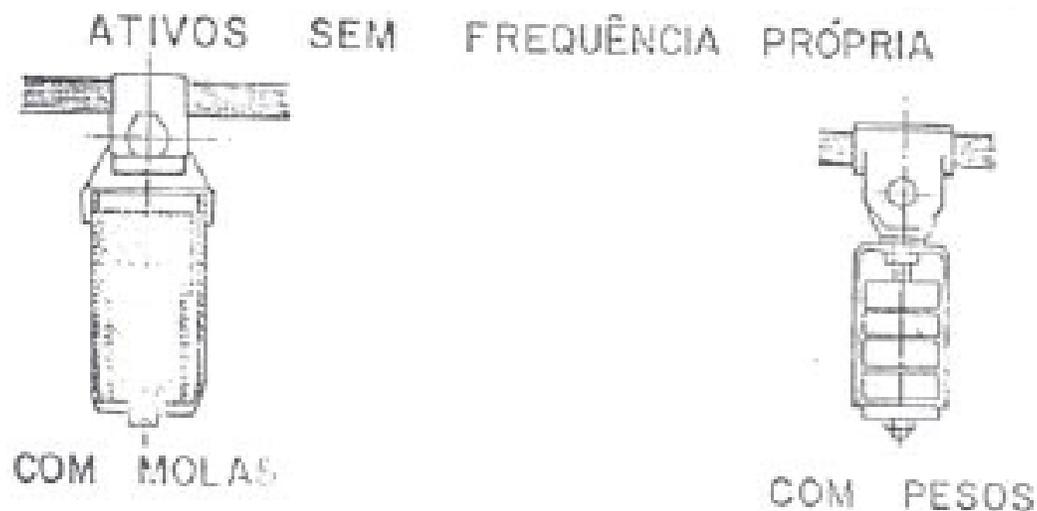
Amortecedores

- Amortecedores ativos com frequência própria
Stokbridge
Pneumático
Hidráulico



Amortecedores

- Amortecedores ativos sem frequência própria
Com mola
Com pesos



Efeitos elétricos

Os condutores de fase ainda estão sujeitos a esforços elétricos, dos quais se destacam:

- ✓ Efeito Skin ou Efeito Peculiar
 - ✓ Efeito Corona



Efeito Skin

Efeito Skin ou Efeito Peculiar

É um fenômeno responsável pelo aumento aparente da resistência do condutor em função do aumento da frequência da corrente elétrica que o percorre.



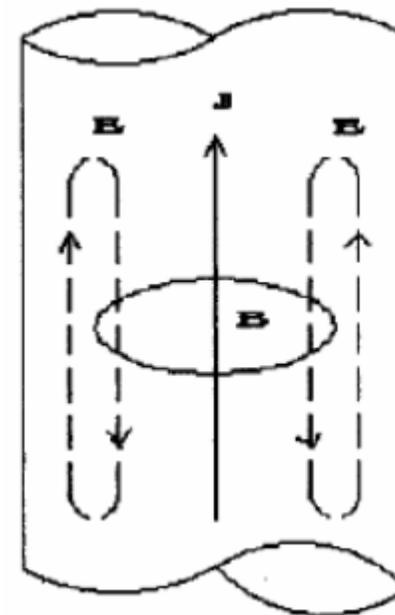
Efeito Skin

A medida que aumenta a frequência da corrente, o campo magnético junto ao centro do condutor também aumenta conduzindo ao aumento da reatância local.



Efeito Skin

O aumento da reatância leva a corrente a querer circular pela periferia do condutor, o que implica em uma diminuição da área efetiva do condutor e logo um aumento da sua resistência aparente.



SENAI

Efeito Skin

Existem duas maneiras mais “econômica e viável” para reduzir o Efeito Skin.

A primeira seria pelo emprego de cabos ocos, ou pelo emprego de cabos entrelaçados.



Efeito Corona

O Efeito Corona é um fenômeno fotoquímico oriundo da ionização em torno de um campo elétrico, gerados pelas mudanças da geométrica do material, motivos mecânicos ou por acúmulo de outras matérias em sua superfície.



Efeito Corona

Um campo elétrico pode acelerar elétrons livres, e estes quando ficam carregados pela energia do campo se chocam com átomos, formando novos elétrons. Esse processo é chamado de ionização por impacto. Como resultado do impacto tem-se a geração de luz, energia acústica e radiações eletromagnéticas



Efeito Corona

As consequências do Efeito Corona são:

- ✓ Acido Nítrico
- ✓ Trilhamento
 - ✓ Arco



Efeito Corona

✓ Acido Nítrico

Surge através da combinação do Óxido de Ozônio, Nitrogênio e umidade.

Ele é destrutivo para compostos metálicos e gera corrosão nos materiais.



Efeito Corona

✓ Trilhamento

São trilhas que surge em materiais devido a descargas elétricas superficiais. Ela causa envelhecimento e degradação dos materiais poliméricos aplicados como isolantes.



Efeito Corona

✓ Arco

É a ruptura de um dielétrico, de meio isolante.
Leva a queda na capacidade elétrica das LTs.

Efeito Corona

Para atenuar, ou até eliminar, o Efeito Corona pode-se diminuir o nível da tensão de transmissão ou empregar Anéis Anti Corona.



Efeito Corona

Se diminuirmos o nível da tensão de transmissão, aumenta-se a corrente, e conseqüentemente para reduzir as perdas tem-se que aumentar a seção dos condutores.



Efeito Corona

Os anéis anti corona são instalados junto a cadeia de isoladores. A função principal do anel é realizar uma melhor distribuição do campo eletromagnético que se concentra na região dos terminais.



Efeito Corona

Anéis anti corona



Feixe de condutores

Em situações onde se deseja transmitir elevado nível de potência, pode se adotar duas situações, elevar o nível de tensão, usar mais de um circuito ou empregar mais de um condutor por fase.



Feixe de condutores

O emprego de mais de um condutor por fase é denominado de feixe de condutores.

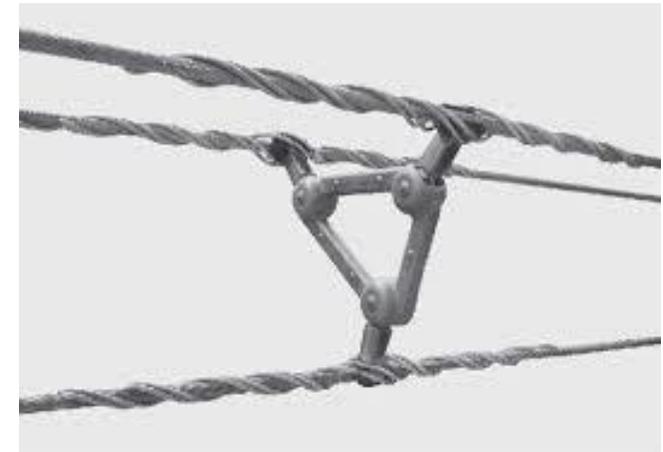
São considerados feixe de condutores o conjunto de 2, 3 ou 4 cabos condutores por fase.

Normalmente são empregados em tensões superiores a 230kV.



Feixe de condutores

A separação dos cabos no feixe é feita através de espaçadores.



Isoladores

O bom desempenho de uma linha de transmissão está relacionado a combinação de vários fatores, é um deles é a sua isolação.

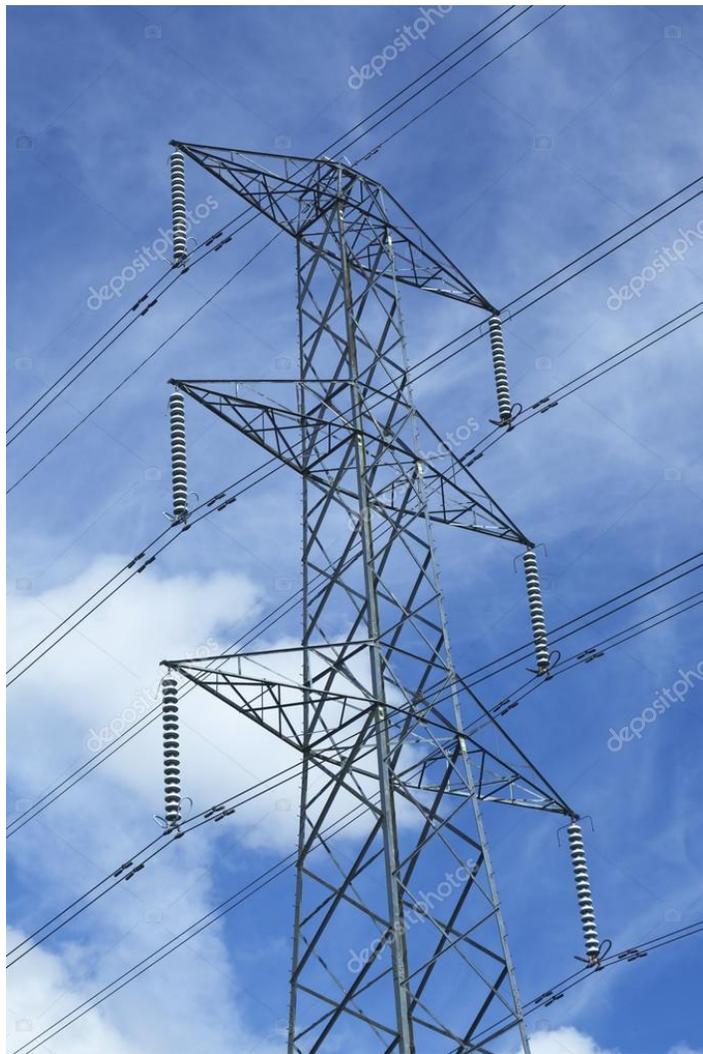


Isoladores

Os critérios para um bom dimensionamento de isolação leva em consideração os seguintes fatores: classe de tensão, surtos de tensão por manobras, resistência de aterramento, nível isoceráunico da região, densidade relativa do ar e pressão atmosférica.



Isoladores



A isolação dos condutores de fase à estrutura é realizada por meio de isoladores, ou cadeia de isoladores.

Os isoladores mais adotados são de vidro e porcelana.



Isoladores

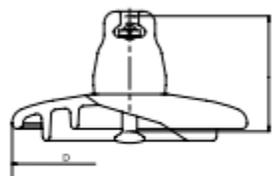
Os isoladores mais empregados são de vidro ou porcelana. Eles devem suportar esforços mecânicos e elétricos.



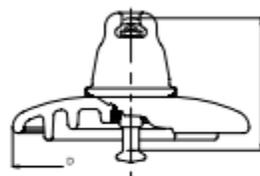
SENAI

Isoladores

Isoladores de suspensão de vidro temperado



A



B

Perfil Normal

Electropic®

Até 230 kV

≥ 345 kV

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

> FREQUÊNCIA INDUSTRIAL

- Suportável a seco um minuto	(1) kV	70	70
- Suportável sob chuva um minuto	(1) kV	40	40
- Tensão disruptiva a seco	(2) kV	80	80
- Tensão disruptiva sob chuva	(2) kV	50	50

> IMPULSO ATMOSFÉRICO

- Tensão suportável	(1) kV	100	100
- Tensão crítica Positivo	(2) kV	125	125
- Tensão crítica Negativo	(2) kV	130	130

> TENSÃO DE PERFURAÇÃO EM ÓLEO	kV	130	130
--------------------------------	----	-----	-----

> NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA

- R.I.V tensão aplicada a frequência industrial	µV	10	30
- Máx. RIV a 1 MHz	kV	50	62



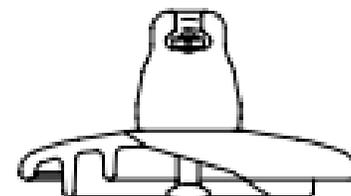
SENAI

Perfis dos isoladores

- **Perfil Padrão:**

(IEC 60305, ANSI C29.2 & NBR 7109)

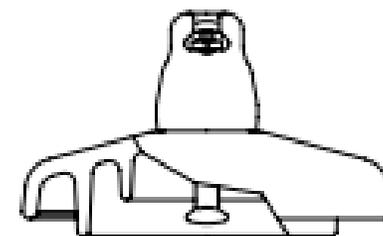
Apresentam nervuras inferiores bem espaçadas e uma distância de escoamento superior aos exigidos pelas normas. Este design possui um bom desempenho em áreas de contaminação moderada.



- **Perfil Anti-Poluição:**

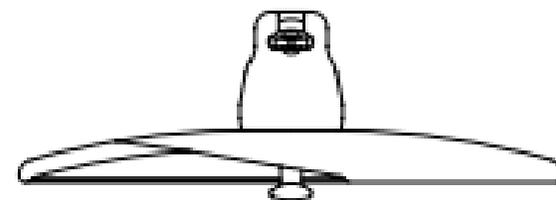
(IEC 60305 & NBR 7109)

Projeto com maior distância de escoamento do que o perfil padrão obtido por duas ou três nervuras de grande profundidade. O perfil e o espaçamento das nervuras promovem uma ação auto-limpante eficaz pelo vento ou pela chuva.



- **Perfil Aberto:**

A ausência de nervuras profundas neste tipo de perfil reduz bastante o acúmulo de poluentes na superfície inferior, pois o fluxo de ar é suave e ininterrupto.



Espaçamento entre condutores de fase

A isolação do sistema também é garantida pelo espaçamento entre os condutores de fase de circuitos diferentes e entre condutores de fase e partes metálicas.



Espaçamento entre condutores de fase

A NBR 5422 especifica as distâncias mínimas para os seguintes casos:

(Du - distância, em metros, numericamente igual a U;
U - tensão da linha em kV)



Espaçamento entre condutores de fase

	Descrição	Distâncias mínimas
Mesmo circuito	Distância horizontal entre fases para $U \leq 50$ kV	Tomar o maior valor entre: a) $D = 0,22 + 0,01 D_U$ b) $D = 0,37 \sqrt{F} + 0,0076 D_U$
	Distância vertical entre fases para $U \leq 50$ kV	1,0 metro
	para $U > 50$ kV	não especificado



SENAI

Espaçamento entre condutores de fase

Circuitos Diferentes	Distância horizontal entre fases	Tomar o maior valor entre: a) $D = 0,22 + 0,01 D_U$ b) $D = 0,37 \sqrt{F} + 0,0076 D_U$
	Distância vertical entre fases	$D = 0,50 + 0,01 D_U$, respeitado o mínimo de 1,0 metro



SENAI

Espaçamento entre condutores de fase

Distância entre fase e cabo pára-raios	$D = 0,22 + 0,01 D_U$
Distância entre partes vivas e aterradas: <ul style="list-style-type: none">- elementos do suporte- estais	$D = 0,03 + 0,005 D_U$ $D = 0,09 + 0,006 D_U$

Distâncias dos condutores de fase ao solo ou obstáculos

Por uma questão de segurança devem ser respeitadas distâncias mínimas entre os condutores de fase e o solo, e entre os condutores e obstáculos.

Essa distância mínima pode ser determinada por:

$$D = a + 0,01 \left(\frac{D U}{\sqrt{3}} - 50 \right), \quad \text{se } U > 87 \text{ kV}$$

ou

$$D = a \text{ se, } U \leq 87 \text{ kV}$$



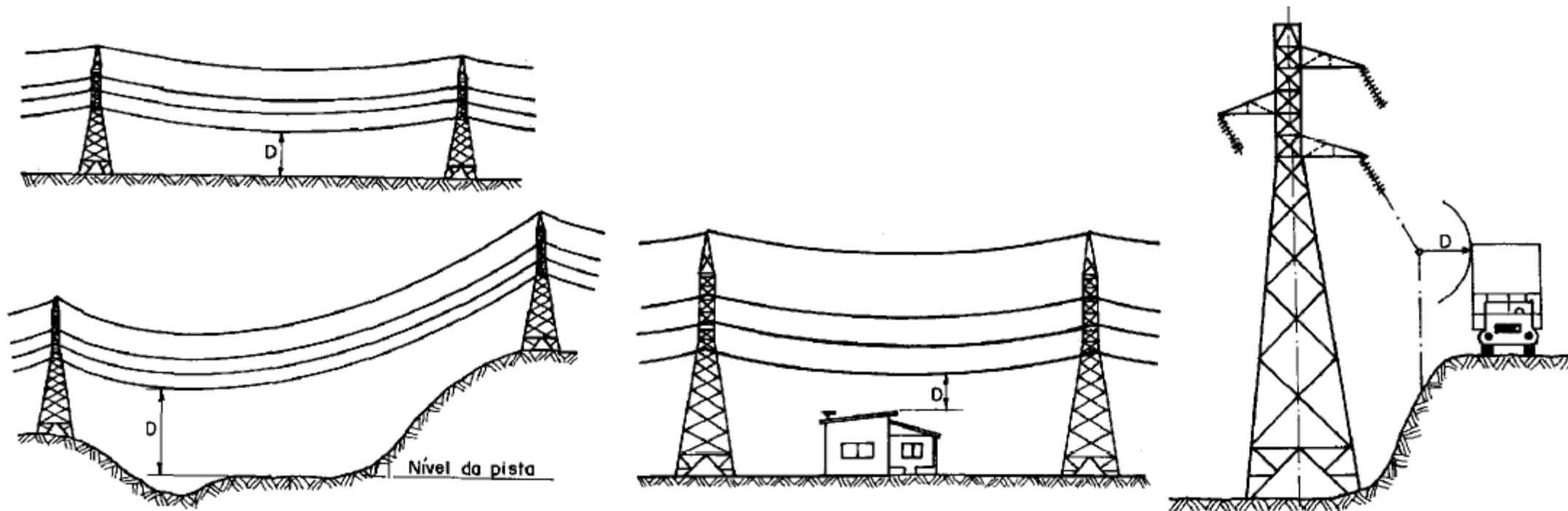
Distâncias dos condutores de fase ao solo ou obstáculos

Natureza da região ou obstáculo atravessado pela linha ou que dela se aproxime	Distância básica a (m)
Locais acessíveis apenas a pedestres	6,0
Locais onde circulam máquinas agrícolas	6,5
Rodovias, ruas e avenidas	8,0
Ferrovias não eletrificadas	9,0
Ferrovias eletrificadas ou com previsão de eletrificação	12,0
Suporte de linha pertencente à ferrovia	4,0
Águas navegáveis	H + 2,0
Águas não navegáveis	6,0
Linhas de energia elétrica	1,2
Linhas de telecomunicações	1,8
Telhados e terraços	4,0
Paredes	3,0
Instalações transportadoras	3,0
Veículos rodoviários e ferroviários	3,0

O a da equação é definido pela tabela



Distâncias dos condutores de fase ao solo ou obstáculos



SENAI

Distâncias dos condutores de fase ao solo ou obstáculos

NBR 5422/1985

13.4 Quando a linha atravessar áreas de canavial, recomenda-se proceder à erradicação total dos canaviais existentes na faixa de segurança.

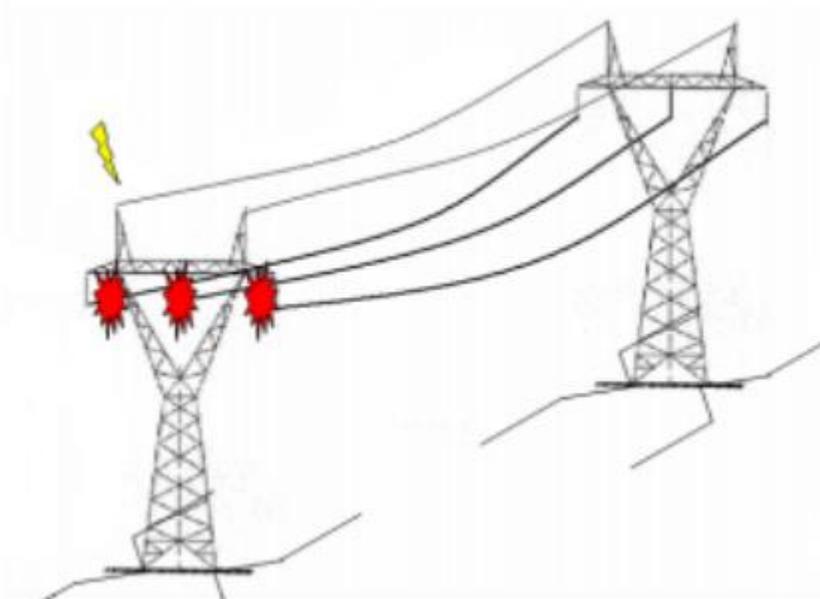
13.5 Recomenda-se manter as árvores situadas fora da região de balanço dos condutores com altura tal que, caso a árvore possa vir a cair em direção à linha, em momento algum sua distância aos condutores seja inferior a $0,5 + 0,0025 D_U$, em metros, e aos suportes e/ou estais seja inferior a 0,5 metros.

13.7 Após a montagem da linha é permitida a utilização do terreno da faixa para culturas, desde que a distância entre o topo das culturas e o condutor na condição de flecha máxima, sem vento, fique, no mínimo, igual à distância H definida no item 13.2.



Cabo Para Raios

O sistema de “SPDA” das linhas de transmissão é feito pelo emprego de cabos de aço na parte mais alta das torres.



Cabo Para Raios

Tipo da linha de transmissão	Classe de tensão [kV]	Número mínimo de cabos para-raios por estrutura
LT-CA	≥ 345	2
	230	2
LT-CC	Todas	2



SENAI

Cabo Para Raios

Em casos de descargas atmosféricas, é esperado que ela atinja o cabo para raios.

A descarga é direcionada para terra através da própria estrutura da torre.



Cabo Para Raios

A proteção para as LT levam em consideração vários aspectos: seu comprimento, altura, densidade local de descargas atmosféricas, a impedância do aterramento. Em casos críticos, adota-se a instalação de para-raios.



Cabo Para Raios



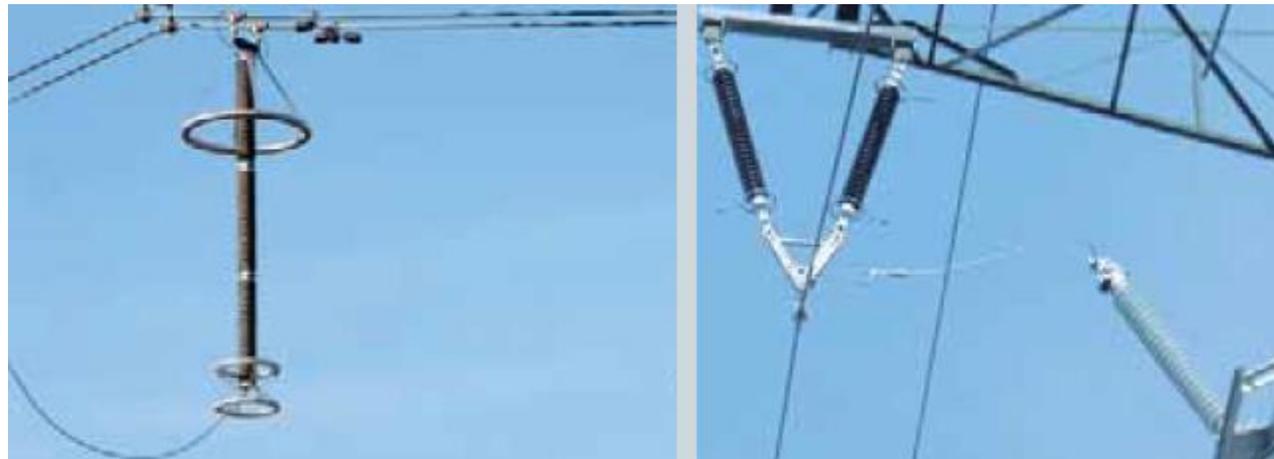
Cabo Para Raios

O uso de para raios em LTs tem o objetivo de reduzir os desligamentos não programados, que tem como causa descargas atmosféricas, como também desligamentos indiretos (sobretensões induzidas).



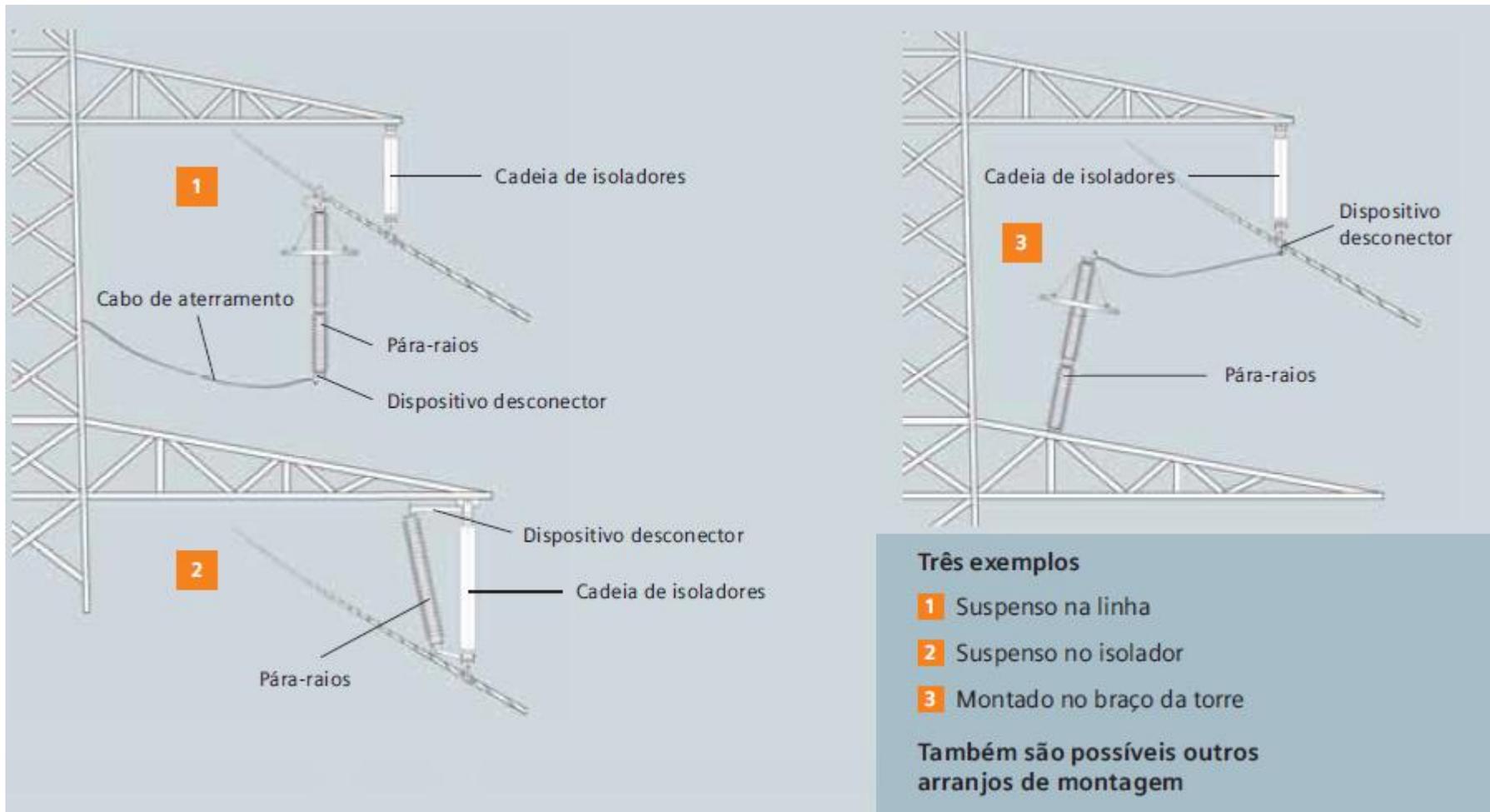
Cabo Para Raios

Os para raios são conectados eletricamente a cadeia de isoladores, e nas ocorrências de descargas atmosférica na estrutura, cabo para raios ou condutores de fase, a corrente de surto fluirá pelo para raios e descarregando ao terra.



SENAI

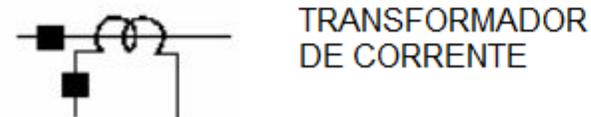
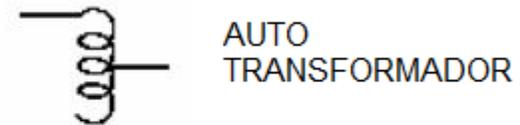
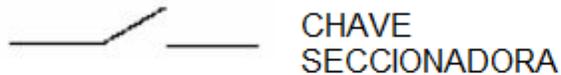
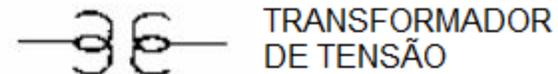
Cabo Para Raios



SENAI

SIMBOLOGIA EM LTS

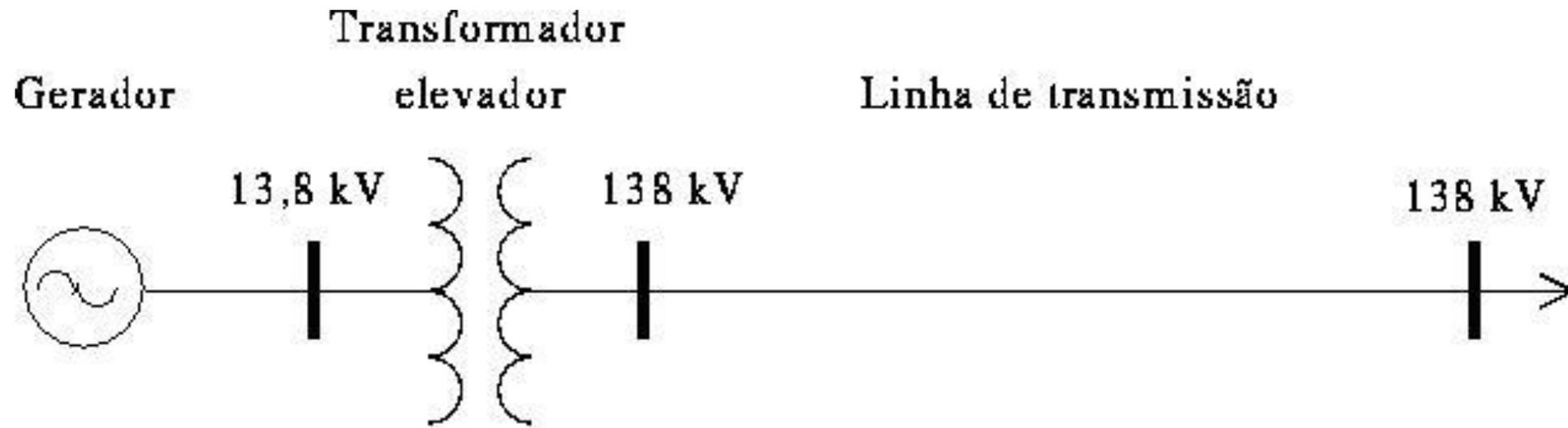
A simbologia empregada em linhas de transmissão são apresentadas pela 5422.



SENAI

SIMBOLOGIA EM LTS

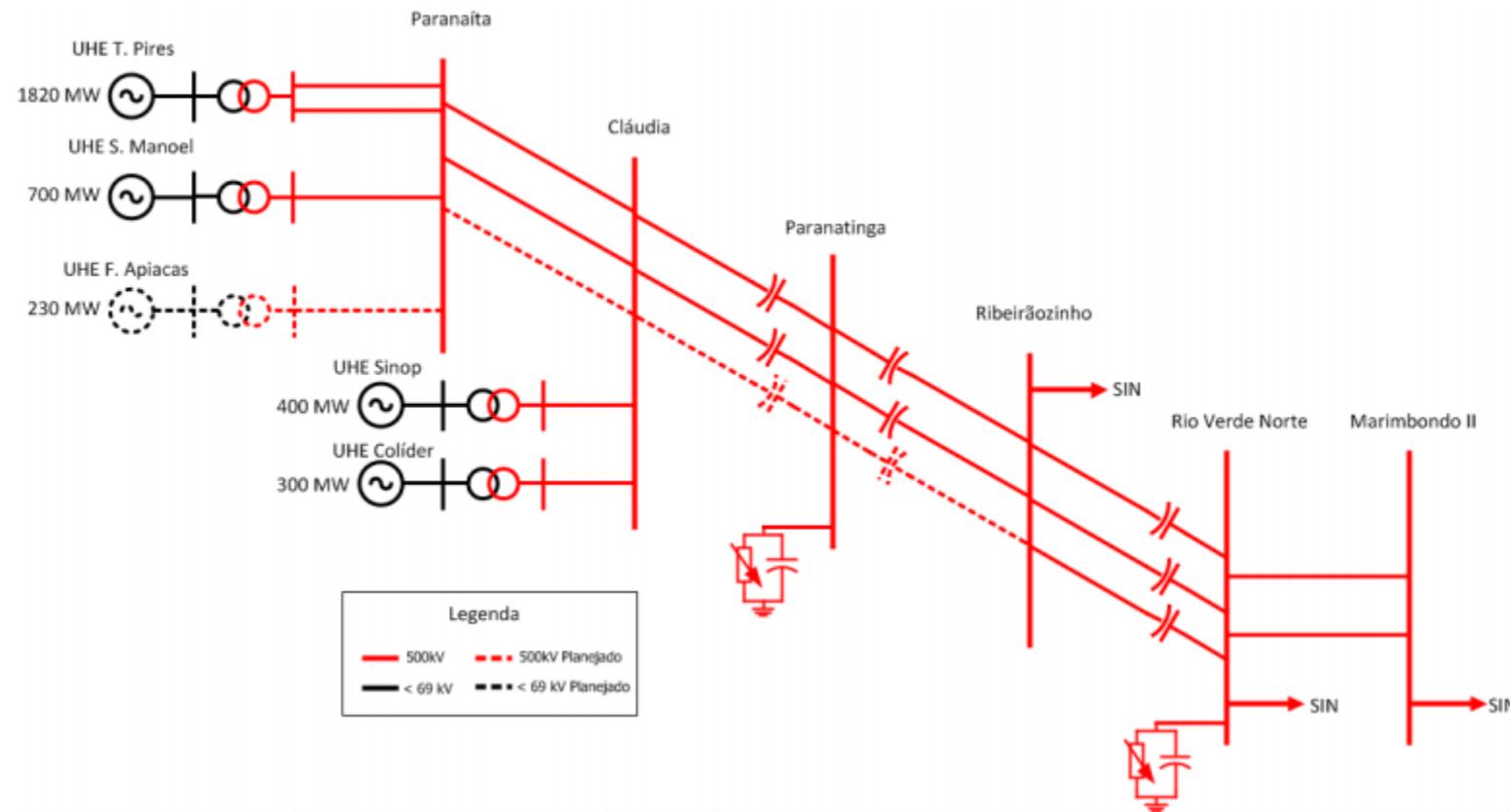
Diagrama unifilar de uma linha de transmissão



SIMBOLOGIA EM LTS

Diagrama unifilar de uma linha de transmissão

Diagrama unifilar simplificado do sistema de transmissão para escoamento das usinas do Rio Teles Pires



SENAI

SIMBOLOGIA EM LTS

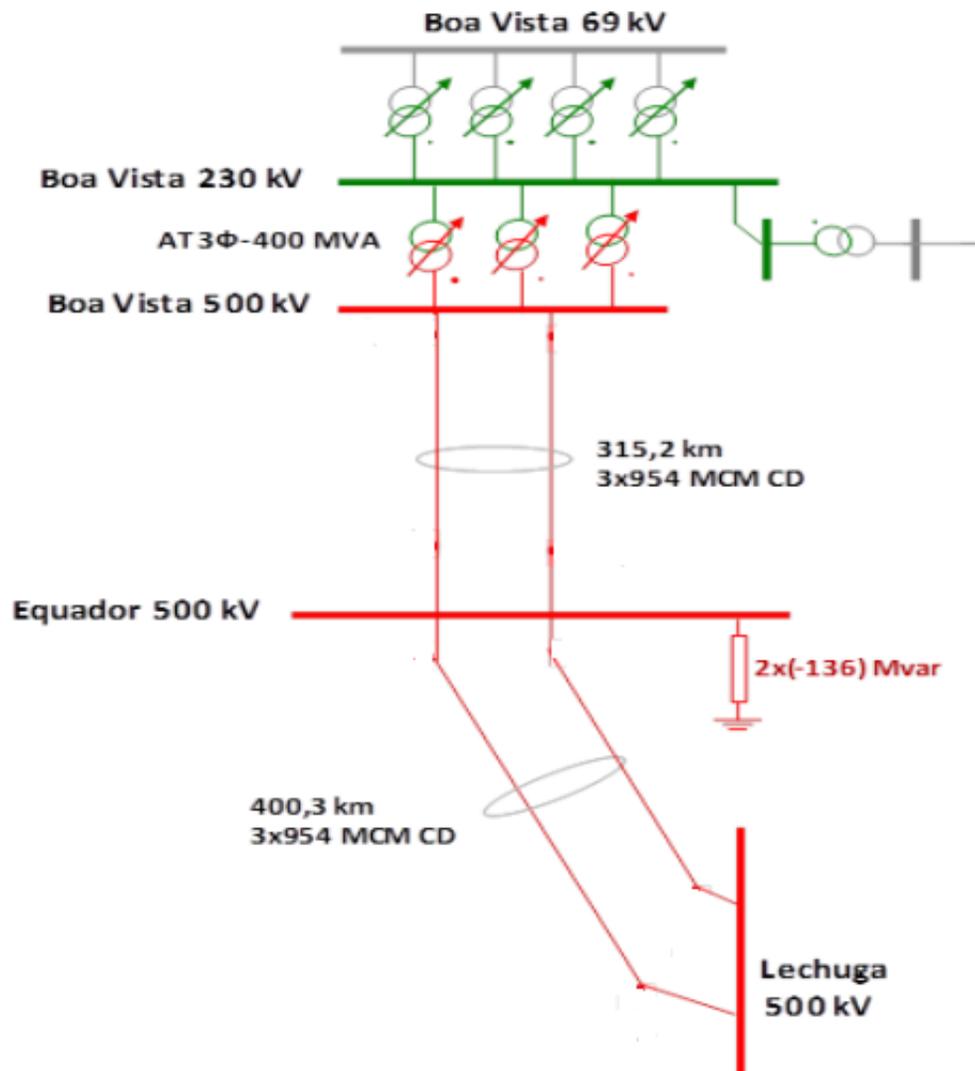
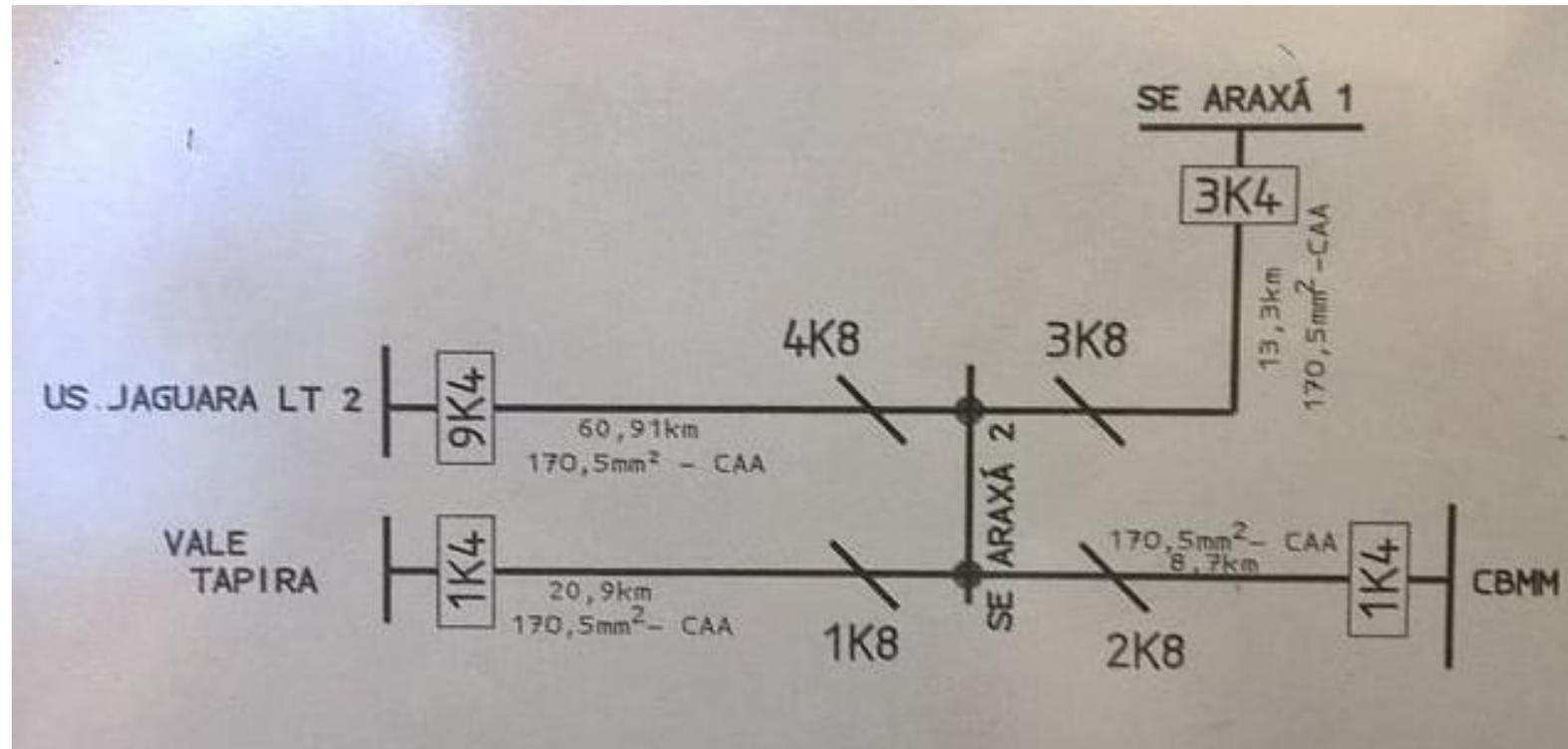


Diagrama unifilar de uma linha de transmissão

SIMBOLOGIA EM LTS



SENAI

MATERIAIS COMPLEMENTARES

Materiais complementares podem ser encontrados no site da ONS, ou clicando [aqui](#).



Perguntas

