

LINHAS DE TRANSMISSÃO

SUMÁRIO

1. SIMBOLOGIA.....	1
2. DEFINIÇÃO.....	2
3. FUNÇÃO.....	3
4. APLICAÇÃO.....	4
5. TERMINOLOGIA.....	6
5.1 – SISTEMA ELÉTRICO.....	6
5.2 – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS).....	6
5.3 – SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN).....	6
5.4 – CONCESSIONÁRIA.....	7
5.5 – AMPACIDADE.....	7
5.6 – EFEITO CORONA.....	7
5.7 – COMPENSAÇÃO DE LINHAS.....	8
5.8 – FAIXA DE LINHA DE TRANSMISSÃO.....	8
5.9 – NÍVEL DE TENSÃO.....	8
5.10 – TORRE DE TRANSMISSÃO.....	8
5.11 – RISCO DE FALHA DO ESPAÇAMENTO.....	9
5.12 – FERRAGENS.....	9
5.13 – CONDUTORES MÚLTIPLOS.....	9
5.14 – ARCO-ELÉTRICO.....	10
5.15 – FREQUÊNCIA DO SISTEMA.....	10
6. CLASSIFICAÇÃO.....	11
6.1 – NÍVEL DE TENSÃO.....	11
6.2 – FORMAS DE CONSTRUÇÃO.....	12
6.3 – TIPO DE CORRENTE TRANSPORTADA.....	13
6.4 – TIPO DE LINHA DE TRANSMISSÃO.....	14
7. CONSTITUIÇÃO.....	15
7.1 – CABOS CONDUTORES.....	15
7.2 – ATERRAMENTO.....	15
7.3 – FUNDAÇÕES.....	15
7.4 – ISOLADORES.....	15
7.5 – PÁRA-RAIOS.....	15
7.6 – ESFERAS DE SINALIZAÇÃO.....	16
7.7 – ESTRUTURAS OU SUPORTE.....	16
8. FUNCIONAMENTO.....	18

9. ESPECIFICAÇÃO.....	19
9.1 – CORRENTE.....	19
9.2 – TIPO DE LINHA.....	19
9.3 – TIPO DE ESTRUTURAS.....	20
9.4 – CABO CONDUTOR.....	23
10. ENSAIOS.....	27
10.1 - ENSAIOS EM FERRAGENS.....	27
10.2 – ENSAIOS EM ISOLADORES.....	30
11. INSTALAÇÃO.....	33
12. MANUTENÇÃO.....	37
12.1 – MANUTENÇÃO DO TERRENO ONDE ESTÁ INSTALADO A TORRE.....	38
12.2 – MANUTENÇÃO DA TORRE.....	39
12.3 – MANUTENÇÃO DOS ISOLADORES E CABOS CONDUT.....	39
13. NORMAS.....	43
14. PREÇOS.....	45
15. ANEXOS.....	47
16. FONTES DE CONSULTA.....	48

1. SIMBOLOGIA

As linhas de transmissão, diferentemente da maioria dos equipamentos elétricos, não possui uma simbologia detalhada, pois, como veremos a seguir, ela é apenas uma ligação entre outros equipamentos. A simbologia que diz respeito às linhas de transmissão é a simbologia representada na figura 1.1.



Figura 1.1 – Simbologia da entrada e saída de energia de subestações.

Um exemplo da utilização dessa simbologia está na representação do diagrama unifilar da figura 1.2, que representa, ainda, um gerador e um transformador.

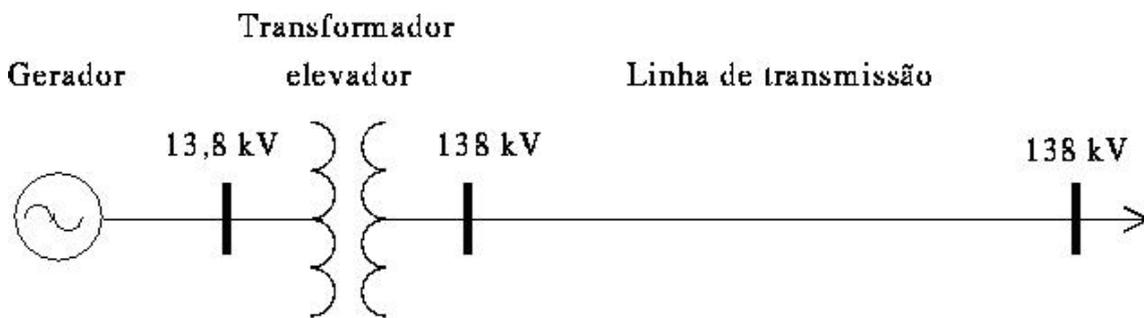


Figura 1.2 – Diagrama unifilar simplificado dos sistemas de geração e transmissão.

2. DEFINIÇÃO.

Linha de transmissão é um circuito elétrico que interliga diferentes tipos de subestações (elevadora, abaixadora, de transmissão), cujo objetivo é o transporte da energia elétrica.

Para se caracterizar esse transporte de energia elétrica como linha de transmissão, a tensão da linha deve ser superior a 138kV. Abaixo desses valores, temos linhas de subtransmissão e distribuição.

3. FUNÇÃO

As bases do sistema elétrico são as geradoras e os consumidores da energia. Na maioria dos casos, a geração ocorre a uma distância grande do centro consumidor. Para interligar a geração com o centro consumido, são utilizadas as linhas de transmissão, e, para evitar perdas dessa energia durante o trajeto, ela deve ser transportada em tensões elevadas.

Portanto, a linha de transmissão tem a função de transportar a energia elétrica gerada nas usinas geradoras até o centro consumidor, em uma tensão elevada, de modo a evitar maiores perdas.

4. APLICAÇÕES

Como foi visto anteriormente, a linha de transmissão transporta a energia elétrica das usinas geradoras até o centro consumidor, mas com uma tensão elevada. Para obtermos essa tensão elevada, são utilizadas subestações elevadoras, que, próximas às usinas, elevam a tensão gerada, e subestações abaixadoras, que, próximas aos centros consumidores, abaixam a tensão transportada para ela ser utilizada. Além dessas existem outros tipos de subestações no caminho da linha de transmissão.

As linhas de transmissão são utilizadas, basicamente, entre as subestações elevadora e abaixadora. A figura 4.1 é uma representação desse local onde a linha é utilizada. Já nas figuras 4.2 e 4.3, temos imagens da entrada das linhas de transmissão em subestações.

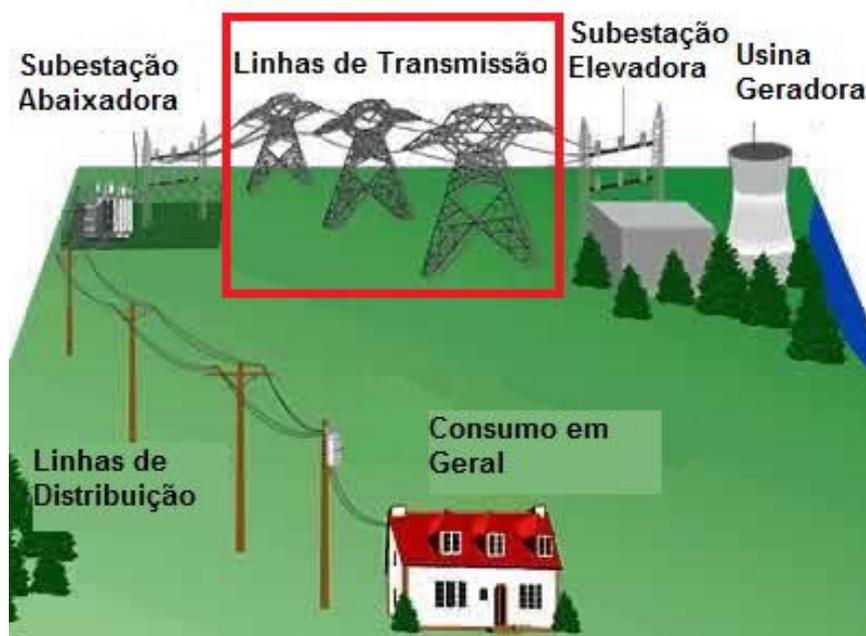


Figura 4.1 – Representação do sistema elétrico, com a linha de transmissão destacada.



Figura 4.2 – Entrada da linha de transmissão em uma subestação.



Figura 4.3 – Entrada da linha de transmissão em uma subestação.

Alguns autores consideram uma aplicação da linha de transmissão o transporte de energia elétrica em tensões de 69kV e 138kV para consumidores especiais, mas nesse trabalho, esse nível de tensão, como será visto posteriormente, é considerado subtransmissão.

5. TERMINOLOGIA

5.1 – SISTEMA ELÉTRICO

O sistema elétrico engloba todas as partes por onde a energia elétrica passa. Ele compreende, no geral, a geração, a transmissão e o consumo da energia elétrica. A figura 5.1.1 é um esquema simplificado do sistema elétrico.



Figura 5.1.1 – Sistema elétrico simplificado.

5.2 – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS).

Responsável pela coordenação e controle da operação da geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional. Regulador das concessionárias.

5.3 – SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN).

Sistema formado por concessionárias de todas as regiões do Brasil, que interliga grande parte das usinas e das linhas de transmissão do país. O sistema é operado pela ONS. Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN. A figura 5.3.2 representa as linhas e usinas desse sistema.



Figura 5.3.1 – Sistema Interligado Nacional.

5.4 – CONCESSIONÁRIA

Empresa proprietária ou responsável pela linha de transmissão, que deve manter o seu funcionamento e realizar manutenção para isso. Algumas concessionárias são responsáveis pela construção da linha de transmissão.

5.5 – AMPACIDADE

Corrente máxima que a linha é capaz de transmitir sem que haja um aquecimento elevado dos condutores que provocam sua dilatação, aumentando a flecha da linha e diminuindo a distancia do cabo ao chão, tornando perigoso o local da instalação.

5.6 – EFEITO CORONA.

Efeito decorrente do rompimento do dielétrico do ar ao redor dos condutores, que cria pequenas descargas ao redor do condutor, com forma similar de uma coroa. Ele provoca perdas elétricas no sistema e interferência em rádio e TV em localidades próximas. Já na ocorrência de sobretensões na linha, o efeito corona é um meio importante de amortecer tais falhas, agindo como um "escape" desta energia excedente. As linhas de EAT são projetadas

de forma a terem seu campo elétrico próximo desse valor limite. Utiliza-se múltiplos condutores por fase para evitar esse efeito.

5.7 – COMPENSAÇÃO DE LINHAS

Para linhas com grandes comprimentos, acima de 400 km, é necessário o uso de equipamentos de compensação, tais como reatores em paralelo e capacitores em série, para aumentar a capacidade da linha.

5.8 – FAIXA DE LINHA DE TRANSMISSÃO

Caracterizam-se como locais com restrições ou com limitações no tocante à implementação de uso e ocupação que configurem violação dos padrões de segurança estabelecidos nas normas técnicas e procedimentos das concessionárias de energia.

5.9 – NÍVEL DE TENSÃO

A tensão das linhas de transmissão varia de acordo com a potência a ser transportada. Mas a tensão da linha não pode ser escolhida ao acaso. Normas estabelecem os níveis de tensão a serem transmitidos. No Brasil, por exemplo, alguns níveis de tensão praticados, para linhas de transmissão, são 765 kV, 500 kV, 440 kV, 345 kV e 230 kV e $\pm 600\text{kVcc}$. Para subtransmissão temos 138kV e 69kV.

5.10 – TORRE DE TRANSMISSÃO

Estruturas metálicas, normalmente de aço galvanizado, que sustentam os cabos condutores nas linhas de transmissão. São classificadas em autoportante, que são sustentadas pela própria estrutura, e estaiadas, que são sustentadas por cabos tensionados no solo. As figuras 5.10.1 e 5.10.2 são representações de estruturas autoportante e estaiada, respectivamente.

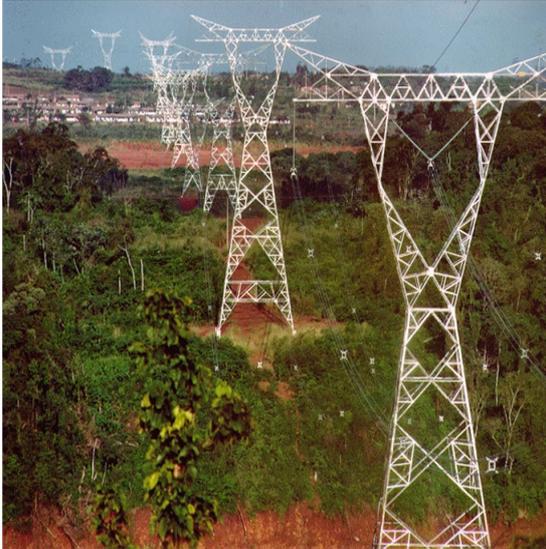


Figura 5.10.1 – Estrutura autoportante



Figura 5.10.2 – Estrutura estaiada

5.11 – RISCO DE FALHA DO ESPAÇAMENTO

Probabilidade de falha da linha de transmissão por ocorrência de rompimento do isolamento do espaçamento do condutor ao solo ou aos obstáculos atravessados pela linha ou que dela se aproximem.

5.12 - FERRAGENS

As ferragens, também chamadas ferragens eletrotécnicas, são dispositivos para fins de fixação, sustentação, emenda, proteção elétrica ou mecânica, reparação, separação, amortecimento de vibrações de cabos.

5.13 – CONDUTORES MÚLTIPLOS

Para evitar a ocorrência do efeito corona, em linhas de EAT são normalmente utilizados mais de um condutor por fase, para reduzir as linhas de fluxo do campo elétrico. A figura 5.13.1 é uma foto de uma linha com múltiplos condutores.



Figura 5.13.1 – Linha de transmissão com múltiplos condutores.

5.14 – ARCO-ELÉTRICO.

Fluxo de corrente entre dois eletrodos condutivos, em meio normalmente isolante, como o ar, por exemplo. O resultado dele é temperatura bastante elevada, capaz de fundir alguns materiais. Causa grandes danos na instalação.

5.15 – FREQUÊNCIA DO SISTEMA.

O sistema elétrico é, em geral, trifásico com corrente alternada (senoidal). A frequência do sistema é a quantidade de revoluções feitas pela senoide em um segundo. A frequência do sistema é normalmente 50/60 Hz. O sistema elétrico brasileiro tem frequência nominal de 60 Hz.

6. CLASSIFICAÇÃO

Existem diferentes tipos de linha de transmissão. Por isso, elas seguem alguns critérios de classificação. Esses critérios estão listados a seguir.

6.1 – NÍVEL DE TENSÃO

As linhas de transmissão são classificadas, em primeiro lugar, de acordo com seu nível de tensão. Algumas variáveis influenciam no nível de tensão a ser transportada por uma linha. Essas variáveis são a potência a transportar, o comprimento dessa linha e o custo para sua instalação. O nível de tensão deve ser alto para reduzir as perdas, pois a seção do condutor é menor. Abaixo temos um exemplo da diferença da seção do condutor para diferentes níveis de tensão.

Para transmitir a potência de 50 MW com fator de potência de 0,85, por meio de uma linha de transmissão trifásica com condutores de alumínio, desde a usina hidroelétrica, cuja tensão nominal do gerador é 13,8 kV, até o centro consumidor situado a 100 km, admitindo-se uma perda por efeito Joule de 2,5% na linha, o diâmetro do cabo é determinado segundo as seguintes formulas: considerar a resistividade do alumínio ($0,02688 \Omega \frac{mm^2}{m}$)

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi}, \quad R = \frac{P_L}{I^2} \quad \text{e} \quad S = \rho \frac{l}{R}$$

Para a transmissão em 13.8kV, a seção do condutor deve ser 130mm², enquanto para 138kV, essa seção deve ser de 13mm².

É possível perceber a economia que é feita ao utilizar uma tensão elevada nas linhas de transmissão. As linhas de transmissão são classificadas de acordo com os seguintes níveis de tensão:

6.1.1 – Subtransmissão

Nesse trabalho serão consideradas linhas de subtransmissão as linhas que operam em 69kV e 138kV, que, normalmente passam nos centros urbanos.

6.1.2 - Alta tensão (AT)

São as linhas de transmissão com tensão entre 36kV e 230kV.

6.1.3 - Extra Alta Tensão (EAT)

São as linhas de transmissão com tensão entre 230kV e 765kV.

6.1.4 - Ultra Alta Tensão (UAT)

São linhas ainda em desenvolvimento e com pouca utilização atualmente. A sua tensão é acima de 765kV e já existem estudos para transmissão em 1MV.

6.2 – FORMAS DE CONSTRUÇÃO

Outra forma de classificar a linha de transmissão é segundo a sua forma de construção. A linha pode ser construída de duas maneiras:

6.2.1 - **Circuito simples.** Nesse tipo de construção, a torre de transmissão leva apenas um grupo de fases. A figura 6.2.1 é um exemplo desse tipo de construção.

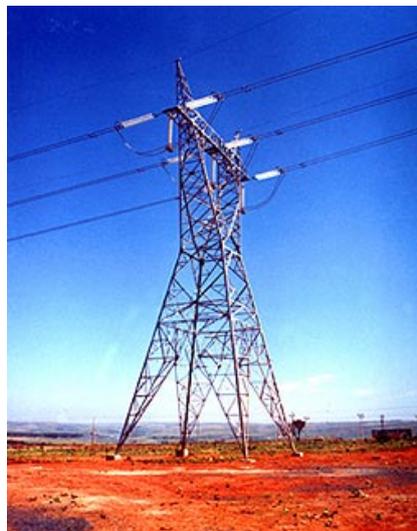


Figura 6.2.1 – Linha de transmissão de circuito simples

6.2.2 - Circuito duplo

Nesse outro tipo de construção, a torre de transmissão leva dois grupos de fases. A figura 6.2.2 é um exemplo dessa construção.



Figura 6.2.2 – Linha de transmissão de circuito duplo.

6.3 – TIPO DE CORRENTE TRANSPORTADA.

A geração de tensão, no atual sistema elétrico, se dá por meio de corrente alternada. Por essa razão, a grande maioria dos equipamentos trabalha com esse tipo de tensão. A transmissão da energia elétrica pode ocorrer com dois tipos de corrente.

6.3.1 - **Corrente alternada.** Forma mais usual para transporte de energia por linhas de transmissão, já que não necessita alterações em sua forma para ser transmitida.

6.3.2 - **Corrente contínua.** Esse tipo de transmissão é mais atual, e se mostra mais viável para linhas, de tensões elevadas, com comprimento bastante grande. A sua utilização gera uma série de vantagens, tais como o desacoplamento entre sistemas e a economia de cabos, usando de estruturas mais leves. Ela já é utilizada na usina de Itaipú. A figura 6.3.1 é um exemplo de linha de transmissão em corrente contínua.



Figura 6.3.1 – Linha de transmissão em corrente contínua.

6.4 – TIPO DE LINHA DE TRANSMISSÃO

As linhas de transmissão podem ser classificadas de acordo com o local por onde ela passa. A partir desse critério, as linhas são classificadas em:

6.4.1 - Linhas Aéreas

São o tipo mais comum de linhas de transmissão. São suportadas por torres, e seus cabos ficam expostos.

6.4.2 - Linhas Subterrâneas

São pouco comuns, mais utilizadas em centros urbanos. Custo bastante elevado por conta da blindagem dos condutores.

6.4.3 - Linhas Submarinas

Bem pouco utilizadas. Específicas para travessia de rios e canais, que, por linhas aéreas demanda um projeto especial, pois a catenária formada pelos cabos será imensa, necessitando o uso de cabos com liga especial e torres gigantescas. O uso de linhas submarinas evita o uso destas estruturas, reduzindo a poluição visual e evitando problemas em locais com travessias de navios. Mas essa linha tem a limitação de possuir uma grande capacitância, reduzindo o seu alcance prático para aplicações em corrente alternada, facto no qual é preferível o uso de linhas em corrente contínua.

7. CONSTITUIÇÃO

7.1 – CABOS CONDUTORES

São considerados os elementos ativos das linhas de transmissão, são dimensionados para transportar uma potência compatível com a sua capacidade térmica. Os condutores devem apresentar alta condutibilidade elétrica, baixo custo, boa resistência mecânica, baixo peso específico e elevada resistência a oxidação.

Os cabos condutores são formados de várias comandas de fios encordoados. São utilizados como materiais o alumínio (AAC), alumínio-liga (AACC) - alumínio com alma de aço (ACSR).

7.2 – ATERRAMENTO

O aterramento é geralmente feito por cabos de cobre e/ou aço cobreado, tem a função de descarregar as tensões excedentes para a terra.

7.3 – FUNDAÇÕES

As fundações servem de base para as estruturas, o tipo adotado depende das características do solo, podendo ser do tipo grelha (estrutura de aço enterrada) ou em concreto.

7.4 – ISOLADORES

Os isoladores são instalados em conjunto denominado de cadeias de isoladores, e servem juntamente com as ferragens, para fixar os condutores nas estruturas, mantendo-se o isolamento necessário entre eles. Em geral os isoladores são discos de vidro ou porcelana e poliméricos, as ferragens são dimensionadas para suportarem as cargas mecânicas transmitidas pelos cabos condutores e as solicitações elétricas pelas sobretensões que ocorrem numa linha de transmissão.

7.5 – PÁRA-RAIOS

Os pára-raios mais utilizados para linhas de transmissão são do tipo Óxido de Zinco (ZnO) sem centelhadores, sua função é evitar que as

sobretensões causadas pelas descargas elétrica provenientes de raios cause um arco entre a linha e a estrutura da torre.

7.6 – ESFERAS DE SINALIZAÇÃO

As esferas são geralmente laranja e constituídas feitas em resina polimérica reforçada com fibra de vidro. São colocadas com um espaçamento pré-determinado nas LTs com o intuito de sinalizar a presença dos cabos, evitando acidentes por aeronaves ou outros deslocamentos sobre a área de ação do cabo. Pesa aproximadamente 4,6 kg e é fixada por flanges que associadas ao elemento pré-formado garantem uma proteção efetiva à linha.

Não requerem manutenção, não se deslocam, não giram, não ocorre atrito com o cabo nem causam eletrólise ou ressonância harmônica na vibração.

7.7 – ESTRUTURAS OU SUPORTE

As estruturas de uma linha de transmissão servem de suporte para os cabos condutores e pára-raios, são dimensionados para manterem os cabos condutores com distâncias elétricas das partes aterradas compatíveis com nível de tensão, além de suportarem mecanicamente os esforços transmitidos pelos cabos. São utilizadas estruturas em concreto, metálicas com perfis de aço galvanizado ou em postes de aço.

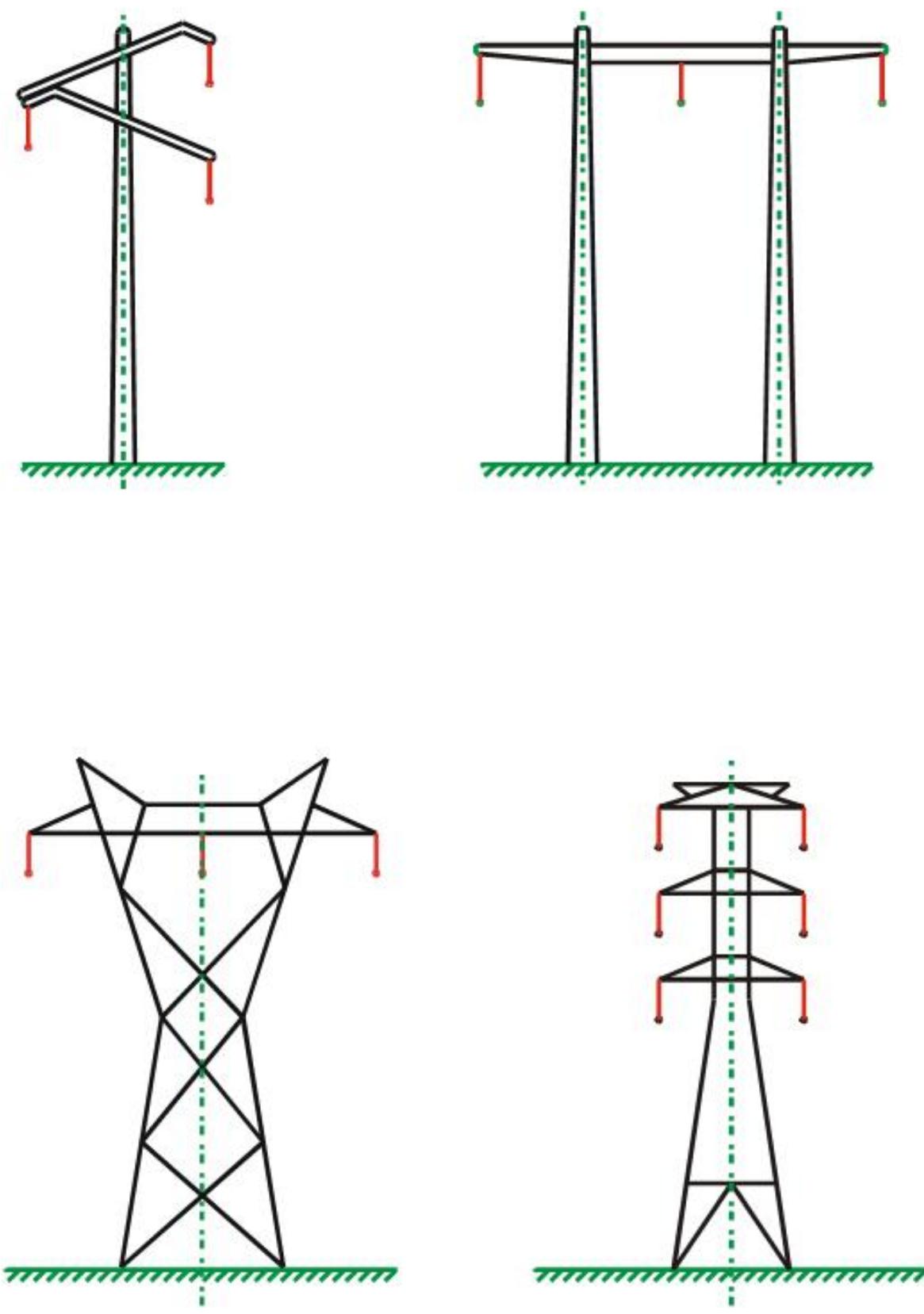


Figura 7.1 – Tipos de estrutura

8. FUNCIONAMENTO

O funcionamento de uma linha de transmissão é baseado no fato de que quanto maior a tensão menor serão as perdas ao longo do trajeto, perdas com aquecimento, causado pela sua resistência interna, e perdas eletromagnéticas causadas pela sua indutância própria.

Após sair da geração a linha de transmissão segue para a subestação de transmissão aonde seu potencial é elevado. Quanto maior a distância entre os pontos extremos das linhas de transmissão, maior deverá ser a tensão, sendo menores as perdas.

Estudos atuais visam o melhoramento dos cabos condutores, para que esse aumento de tensão não seja necessário, pois com um cabo mais eficiente (aquele em que existem menos perdas), a tensão exigida pode ser menor. Essas são as pesquisas dos supercondutores.

9. ESPECIFICAÇÃO

9.1 – CORRENTE

A transmissão de energia elétrica pode ser feita em corrente contínua ou corrente alternada. Hoje, só em alguns casos é utilizada a transmissão em corrente contínua.

As vantagens da utilização de alternadores (máquinas de corrente alternada) relativamente aos dínamos (máquinas de corrente contínua) na produção da energia elétrica, matéria a ser estudada em outras disciplinas, a facilidade de conversão dos níveis de tensão para adequá-los às diferentes etapas da cadeia de energia, e a necessidade de muitos equipamentos terminais serem alimentados em corrente alternada, levaram a que se use quase exclusivamente a corrente alternada.

No entanto convém referir, que o uso de corrente contínua não foi completamente abandonado, há casos em que é utilizada na transmissão de energia elétrica, como é o caso do transporte de grandes quantidades de energia a longa distância em meios ambientes adversos (efeito pelicular) ou quando é necessário efetuar a interligação de dois sistemas a frequência diferente.

9.2 – TIPO DE LINHA

A linha aérea e o cabo subterrâneo diferem consideravelmente na sua constituição e conseqüentemente nas suas propriedades.

A linha aérea é formada por condutores nus ou em torçada, dependendo do nível de tensão, montados em apoios por intermédio de peças isoladas que se designam por isoladores.

O cabo subterrâneo é constituído por condutores isolados ao longo de todo o seu comprimento e reunidos num invólucro comum convenientemente protegido.

Dado que o custo das linhas aéreas é substancialmente mais baixo, este tipo de linhas é usado sempre que possível.

9.3 – TIPO DE ESTRUTURAS

Estruturas ou suportes das linhas de transmissão são elementos de sustentação dos cabos condutores e pára-raios e tem tantos pontos de fixação de condutores e pára-raios quanto forem os mesmos. Suas dimensões e formas são variáveis e dependem da classe de tensão, da função mecânica, do tipo de material empregado, da disposição dos condutores e pára-raios, etc.

Por conta disto, existe uma variedade muito grande de estruturas ou suportes. Padrões estruturais são famílias de estruturas que atendem ao projetista, permitindo especificar corretamente a LT, indicando a estrutura adequada para cada caso, à luz dos estudos feitos, os quais visam criar suportes seguros, porém econômicos.

9.3.1 – Quanto á classe de tensão

Para cada classe de tensão, é necessário projetar padrões estruturais que atendam a cada nível de isolamento, com vistas a segurança e a economia, na medida em que é necessário estabelecer as distâncias fase-fase e fase-terra, levando inclusive em conta o balanço das cadeias.

9.3.2 – Quanto ao material empregado

Podem ser de madeira, aço (treliça e pilares + vigas) e concreto armado (convencional e contraventada).

9.3.3 – Quanto ao espaçamento

Podem ser estruturas convencionais (são anteeconômicas e em geral ocupam grandes espaços) e estruturas compactas (aumento de energia transportada, otimizando e reduzindo o custo do empreendimento aumentando assim a eficiência da LT).

9.3.4 – Quanto à função mecânica

No que tange à função que desempenham as estruturas pode, muito simplesmente, ser classificadas em:

9.3.4.1 – Suspensão

As estruturas de suspensão são as mais comuns, inclusive por serem as mais simples e as mais econômicas. Sua finalidade precípua é simplesmente apoiar os cabos condutores e pára-raios, mantendo-os afastados do solo/terra e entre si, de acordo com normas de segurança bem definidas. Conforme já mostrado, elas podem ser de alinhamento reto e de ângulo pequeno ou grande, a depender das necessidades do projeto. As de alinhamento usadas em tangentes (grandes trechos retos), normalmente pequenos ângulos (de 5° a 20°). De qualquer forma, as estruturas de suspensão têm como característica comum o fato de que os condutores nelas têm continuidade, não sendo seccionados mecanicamente e sim apenas grampeados, através dos chamados grampos de suspensão, que pode, ser do tipo comum, ou pré-formados, com armadura de vergalhão, que são, em última análise, excelente proteção contra as vibrações eólicas.

9.3.4.2 – Amarração ou Ancoragem

Ao contrário das estruturas de suspensão, elas seccionam mecanicamente as LT's, servindo de ponto de reforço e abertura eventual em eventos específicos. São suportes de segurança das LT's e normalmente são projetadas para resistirem às cargas assimétricas, acidentais ou não, provocados por ocorrências fortuitas de porte. Elas podem ser de alinhamento ou de ângulo grande (muito eventualmente ângulos pequenos e praticados com ancoragens). As de alinhamento suportam deflexões pequenas sem maiores problemas, mas, em princípio, são projetadas para serem instaladas em tangentes. As de ângulo são normalmente estruturas muito resistentes e podem suportar ângulos de 15 a 35° (médias) e até ângulos de 90°. É evidente que há um compromisso entre os ângulos e os vãos de peso e de vento, daí resulta que durante os estudos e projetos dos padrões estruturais, este aspecto é exaustivamente examinado e dão ao final características definitivas a cada estrutura.

9.3.4.3 – Transposição

São estruturas destinadas a facilitarem a execução das transposições nas linhas de transmissão.

9.3.4.4 – ALS

São estruturas híbridas, verdadeiros arranjos que visam resolver cabos baixos e de arrancamentos, entre outros. São obtidas a partir de estruturas de suspensão, mediante marcação da posição do condutor no grampo de suspensão, em seguida baixando ao solo e seccionando o condutor para inserir uma cadeia de ancoragem dupla ou simples, que depois são suspensos novamente e fixados na estrutura, agora bem perto das vigas (cruzetas). Os pulos (jumpers) são colocados dando continuidade elétrica às LT's. Com isto é possível ganhar altura equivalente à $\frac{1}{2}$ cadeia ou cadeia completa, a depender do uso de uma ou de duas estruturas tipo ALS (suspensão e ancoragem), respectivamente. Em classe elas serão mostradas em detalhes e suas vantagens e desvantagens serão analisadas, à luz de sua aplicação. De qualquer forma trata-se de uma estrutura típica de manutenção e normalmente não constam de nenhum padrão estrutural corrente de nenhuma empresa.

9.3.5 – **Configuração dos condutores**

As estruturas, segundo a configuração física dos condutores, podem se classificar como segue: triangular, horizontal e vertical.

9.3.6 – **Forma da resistência da estrutura**

As estruturas podem, segundo a forma de resistir aos esforços que lhe são impostos, ser de dois tipos principais: autoportantes (rígidas, flexível e semi-rígida) e estaiadas.

9.3.7 – Número de linhas

As estruturas podem conter mais de um circuito, caso em que são chamadas de estruturas de circuitos duplos, triplos, etc.

9.4 – CABO CONDUTOR

Os condutores das linhas de transmissão, são considerados os elementos ativos por estarem normalmente energizados, sendo a sua escolha baseada em função das características técnicas e econômica, ou seja assegurar que a linha transfira a potência necessária a um custo razoável, visando o bom desempenho do sistema de transmissão. Para atendimento a esta premissa, os condutores devem ser selecionados com suficiente capacidade técnica para atender as condições de regime normal e de emergência. O custo dos condutores representa cerca de 60% do custo dos materiais de uma linha de transmissão, restando 40% para os demais componentes, daí a importância para o dimensionamento correto dos mesmos.

Na escolha do material que deve ser utilizado para os condutores, é fundamental considerar as seguintes características:

9.4.1 – Alta condutibilidade

O material deve ter baixa resistência elétrica, de modo que as perdas por efeito joule possam ser mantidas, dentro de limites economicamente rentáveis, considerando o custo de transporte de energia.

9.4.2 – Elevada resistência mecânica

A resistência mecânica é responsável pela integridade física dos condutores, garantindo a continuidade do serviço e segurança das instalações. Quanto maior for a resistência mecânica, mais econômico será o projeto da linha, com o aumento do rendimento de utilização das estruturas.

9.4.3 – Baixo peso específico

Quanto menor o peso específico dos condutores, menores serão os esforços mecânicos transmitidos as estruturas, conseqüentemente serão utilizadas estruturas mais leves e mais econômicas.

9.4.4 – Alta resistência a oxidação

O material deve ser resistente às condições agressivas do ambiente uma vez que com a oxidação ocorre a perda da secção útil do condutor, provocando a redução da sua resistência mecânica e eventual ruptura do condutor.

Os materiais que atendem a estas características são: cobre, alumínio, bem como ligas de alumínio, que são empregados em larga escala comercial atualmente.

Inicialmente foram utilizados os cabos de cobre que apresentavam como vantagens, alta condutibilidade, elevada resistência mecânica, além de alta resistência à corrosão e elevado peso específico exigindo estruturas mais robustas. Em 1895 foram construídas as primeiras linhas de transmissão com cabos de alumínio, que naquela época apresentavam as desvantagens de ter um preço mais elevado e de menor resistência mecânica quando comparado com o cobre.

A partir de 1908, com a invenção dos cabos de alumínio com alma de aço, CAA ou ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) foram utilizados com sucesso em 1913 na linha BIG CREER na Califórnia. Estes apresentam todas as vantagens quando comparado com o cobre, sendo portanto largamente utilizado até os dias de hoje.

Se por um lado os condutores de alumínio conduzem menos que os de cobre, por outro lado apresentam menores perdas por efeito corona, uma vez que para transportar a mesma corrente, são necessários condutores de alumínio com diâmetro 1,6 maiores que o de cobre e o investimento representa cerca de 25% do investimento necessário para a bitola de cobre equivalente.

Os tipos de cabos condutores mais empregados em linhas de transmissão são:

9.4.5 - ACSR – (Aluminum Conductor Steel Reinforced)

O cabo ACSR é constituído de uma ou mais camadas concêntricas de fios de alumínio ECH-19 encordoados sobre uma alma de aço de alta resistência, galvanizado, constituído de um único fio ou de vários fios encordoados, dependendo da bitola do cabo.

A função da alma de aço é dar maior resistência mecânica ao cabo. A corrente elétrica circulará praticamente nos fios de alumínio, tanto devido a diferença de condutividade, quanto ao efeito pelicular.

O número de fios de alumínio e de fios de aço dá a formação do cabo. Diferentes formações correspondem a diferentes relações peso/carga de ruptura e, para cada peso específico haverá uma relação alumínio/aço ótima no cabo.

Em geral o cabo é denominado pela sua bitola e formação. A bitola pode ser dada em MCM que corresponde somente a área de alumínio no cabo. Um CM é uma unidade de área que corresponde à

área de um círculo cujo diâmetro é igual a um milésimo da polegada, ou $0,00064516 \text{ mm}^2$.

9.4.6 - AAC – (All Aluminum Conductor)

O cabo AAC é composto de vários fios de alumínio ECH-19 encordoados. Para um mesmo percentual de tensão em relação à carga de ruptura, esse tipo de cabo apresenta flechas superiores às do cabo ACSR, pois apresenta relações peso/carga de ruptura superior às do cabo ACSR.

Cabos AAC podem ser uma alternativa para as linhas de transmissão urbanas, onde os vãos são menores e as deflexões no traçado são maiores, utilizando dessa forma estruturas mais econômicas.

A escolha do tipo de condutor a ser utilizado nas linhas de transmissão deverá levar em conta as diferentes relações peso/carga de ruptura, resistências elétricas custos associados, além de outras características, como por exemplo a definição de um padrão adotado em cada empresa.

O dimensionamento dos cabos condutores de um sistema de transmissão é função basicamente da potência necessária a ser transportada, da distância entre subestações fonte e carga, do nível de tensão de operação e finalmente em função de considerações de ordem econômica.

Para dimensionamento dos cabos condutores, são considerados diversos fatores os quais estão inter-relacionados entre si:

- Níveis de Tensão;
- Queda de Tensão Admissível;
- Perdas e Custos Conseqüentes e o custo dos condutores;
- Condições ambientais.

10. ENSAIOS.

As linhas de transmissão, como outros equipamentos elétricos, devem passar por alguns ensaios que têm o objetivo de garantir o seu correto funcionamento. Como já foi visto, essas linhas não são um equipamento único, e sim formadas por diferentes peças e estruturas. Por isso, os ensaios feitos nas linhas de transmissão são diferentes ensaios realizados nessas peças.

10.1 - ENSAIOS EM FERRAGENS

Os ensaios realizados nas ferragens da linha de transmissão, como representado na figura 10.1.1, são divididos nos seguintes grupos:



Figura 10.1.1 – Ensaio de carga em estrutura de linha de transmissão.

10.1.1 - Ensaios de protótipo.

Os ensaios de protótipo são ensaios de verificação eletromecânica do projeto. Eles se restringem, geralmente, às provas de

verificação da tensão de radio-interferência corona e arco de potência. A ferragem em si não precisa da realização desse ensaio, pois o seu anteprojeto passa por diversos desenvolvimentos, aperfeiçoamentos e ensaios em protótipos antes de ser liberada para comercialização.

10.1.2 - **Ensaio de tipo da ferragem em geral.**

Os ensaios de tipo correspondem à verificação de determinadas características físicas, químicas e de desempenho elétrico. São realizados com matéria-prima, produtos semi-acabados durante o ciclo industrial, acabados ou conjuntos.

Nas ferragens em geral das linhas de transmissão, o ensaio de tipo [e subdividido, basicamente, nos seguintes ensaios:

10.1.2.1 - Determinação da composição química

Esse ensaio é normalmente realizado na recepção da matéria-prima. Ele é destinado à verificação de elementos que poderiam causar fragilidade, redução de condutibilidade e resistência mecânica ou corrosão.

10.1.2.2 - Ensaio de descontinuidade

Esse ensaio é aplicado em componentes fabricados com materiais ferrosos pelo forjamento, no qual é verificado a existência de trincas e outras descontinuidades na peça; pela fundição, no qual verifica-se falhas pela irradiação de componentes com raios X ou gama; e pela soldagem em geral, que utiliza um líquido penetrante para detectar descontinuidades superficiais como fendas, fissuras, etc.

10.1.2.3 - Ensaio de aquecimento

Esse ensaio define dois defeitos que podem ocorrer nas estruturas. Um deles é a geração de calor, que juntamente com a umidade acelera o processo de corrosão. A outra são as perdas em Watts, que podem acarretar um aumento significativo nas perdas da linha.

10.1.2.3.4 - Ensaio de condutividade

Nesse ensaio são submetidas apenas ferragens condutivas. Ele consiste na comparação da resistência elétrica de dois pedaços de cabo fixado no componente em teste e pedaço de condutor, com comprimento equivalente nos coligados. A resistência elétrica dos dois deve ser igual.

10.1.2.3.5 - Ensaio de envelhecimento da ferragem

Esse ensaio é feito através da aplicação de 200 ciclos térmicos, aquecimento a 120°C, durante 12 minutos e sucessivo resfriamento à temperatura ambiente. A qualidade da amostra é definida pela medição da sua resistência elétrica.

10.1.2.3.6 - Ensaio de resistência à corrosão

A ferragem galvanizada é ensaiada em um câmara de nevoa salina, na qual se verifica a sua resistência à corrosão em função do tempo que demora para manchas aparecerem.

10.1.3 - **Ensaio de tipos especiais.**

São ensaios diferenciados realizados apenas em algumas peças da ferragem. Essas peças que merecem maior atenção são:

- Grampos de ancoragem para estruturas metálicas;
- Amortecedores Stockbridge;
- Amortecedores Preformados;
- Espaçadores amortecedores;
- Esferas de sinalização.

10.1.4 - **Ensaio de aceitação.**

São ensaios realizados na hora da entrega do produto, na presença do cliente. São ensaios mais simples, com o objetivo de verificar o correto funcionamento das peças. Eles são divididos em dois tipos de ensaios, basicamente. Um deles é o ensaio não destrutivo, que

engloba o exame visual das peças, o seu controle dimensional, sua correta montagem sem haver esforços e a mobilidade das articulações das peças. O outro ensaio é o ensaio de rotina, que verificam os revestimentos das peças, as espessuras do revestimento e a aderência do revestimento.

10.2 – ENSAIOS EM ISOLADORES

Outro componente da constituição da linha de transmissão, os isoladores são peças que também precisam passar por alguns ensaios para verificar o seu correto funcionamento. Eles podem passar por três tipos de ensaios:

10.2.1 - Ensaio elétrico

Nesse ensaio, são verificadas as propriedades elétricas do isolador, tais como os níveis de tensão que o isolador suporta sem haver perfuração e aquecimento anormal, como ocorreu na imagem 10.2.1, seu funcionamento em tensão normal de serviço e em tensões anormais causadas por sobtensões, abertura de circuito, fechamento de circuito e descargas atmosféricas. Esse ensaio verifica, ainda, o comportamento do isolador em condições climáticas diferenciadas, tais como aumento da temperatura ambiente, umidade elevada, poluição e atmosfera salina.

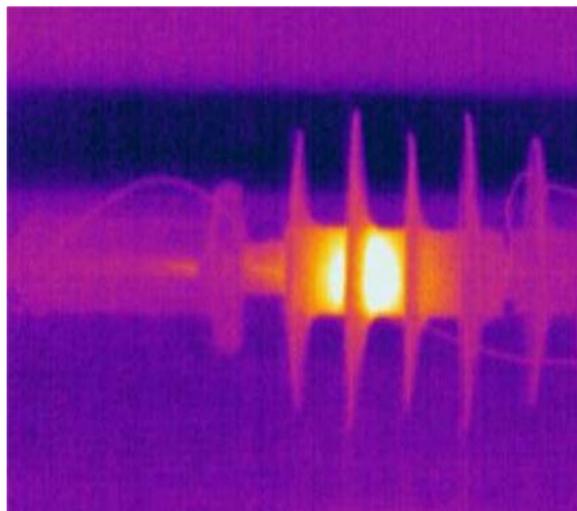


Figura 10.2.1 – Dissipação anormal de calor em isolador polimérico.

10.2.2 - Ensaio mecânico

Ensaio no qual é verificada a resistência do isolador quanto a solicitações mecânicas. Essas solicitações podem ser normais, como a carga do cabo condutor, e excepcionais, como uma tempestade ou uma rajada de vento.

10.2.3 - Ensaio térmico

Nesse ensaio faz-se a verificação do comportamento dos isoladores quando expostos em mudanças bruscas de temperatura. Ele é feito a partir do mergulho do isolador em água quente e, logo em seguida, em água fria, por diversas vezes. Após esse teste, não deve haver nenhuma falha ou fissura no isolador.

Esses ensaios, relatados acima, são classificados em três tipos de ensaios. O primeiro deles é o ensaio de tipo, que é realizado em uma amostra de isoladores, quando fabricados, para verificar suas características com as do projeto. São, em geral, ensaios destrutivos. Outro tipo de ensaio é o de rotina, que é feito em todos os isoladores fabricados, para verificar se não há nenhum defeito de fabricação, ou problema que possa afetar o funcionamento do equipamento. O terceiro ensaio é o de recepção, que é realizado na presença do comprador. Ele verifica a qualidade do produto, se não há nenhum defeito ou dano. Os dois últimos ensaios são ensaios não destrutivos.



Figura 10.2.2 – Realização de ensaio em isolador polimérico.



Figura 10.2.3 – Isolador sendo preparado para ensaio.

Além dos ensaios nesses componentes da linha de transmissão, existem ensaios para outros componentes, tais como ensaios em cabos condutores, para verificar sua resistência interna, por exemplo, nos cabos pára-raios, entre outros componentes.

11. INSTALAÇÃO

A instalação de uma linha de transmissão não é simples, devendo ser executada por empresas especializadas e com autorização da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Como foi visto, a linha de transmissão é constituída de vários componentes, cuja quantidade e características, dependem, basicamente, do nível de tensão, distância a ser percorrida, padrão estrutural e quantidade de condutores por fase.

Para proceder essa instalação, primeiramente deve ser feito um estudo preliminar, que engloba a viabilidade dessa construção, os custos, o trecho por onde ela deve passar, entre outros.

Concluída essa fase, após verificar a viabilidade técnica e econômica da implantação dessa linha, faz-se um projeto básico e executivo, determinando as características de funcionamento dessa linha, tais como o nível de tensão para o qual a linha será projetada.

Com o projeto preliminar, são feitos estudos mais específicos da região por onde essa linha irá passar, como temperatura ambiente, condição da atmosfera, topografia do terreno, travessias no caminho da linha, avaliação patrimonial das áreas por onde a linha passará, estudos ambientais, entre outros.

Com esses estudos, a ANEEL abre licitações para a construção da linha de transmissão. Com um valor limite para construção, operação e manutenção da linha. Ganha o direito de construir a linha a concessionária que oferecer o menor valor para a obra.

Vencida a concorrência, a concessionária realiza os projetos de definição dos componentes a serem usados na construção da linha. Nessa fase são definidos os tipos de estrutura (estaiada ou autoportante), as quais serão utilizadas na obra, e a geometria dessas estruturas (cabeça de gato, delta, etc.); o material dos cabos condutores, que podem ser o alumínio (AAC), alumínio-liga (AACC) - alumínio com alma de aço (ACSR), que dependem, entre outras coisas, do nível de tensão da linha; o tipo da fundação das estruturas, que dependem do tipo de terreno; e os isoladores a serem utilizados.

Terminada a fase de projeto da linha, inicia-se a sua instalação propriamente dita. A primeira parte a ser construída é a fundação das torres, como representado na figura 12.1.



Figura 12.1 – Funcionários fazendo a escavação para fundação de torre de transmissão.

Com a fundação concluída, a montagem das torres é iniciada. Essa montagem é feita no local da instalação, onde são fixadas a base da torre, o seu corpo e a sua cabeça, como é visto na seqüência de figuras a seguir.



Figura 12.2 – Montagem da base da torre.



Figura 12.3 – Montagem do corpo da torre.



Figura 12.4 – Montagem da cabeça da torre.



Figura 12.5 – Finalização da montagem da torre.

Após a conclusão da montagem das torres da linha de transmissão, são instalados os isoladores e ferragens em geral na estrutura, que sustentarão os cabos condutores e cabos pára-raios. O tipo de isolador e sua forma dependem do nível de tensão e do tipo e forma da estrutura da torre.

Com os isoladores corretamente instalados, inicia-se a passagem dos cabos, condutores e pára-raios da linha de transmissão. Os cabos devem manuseados cuidadosamente para não haver nenhum dano à sua estrutura, os quais podem causar problemas de efeito corona e perdas além do esperado. Além disso, eles devem ser corretamente instalados e fixados nos isoladores para evitar acidentes. Nas figuras 12.6 e 12.7 temos imagens de cabos sendo instalados em linhas de transmissão.



Figura 12.6 – Instalação de cabos condutores de linha de transmissão.



Figura 12.7 – Instalação de cabos condutores de linha de transmissão.

Após a instalação dos cabos condutores, inicia-se a última fase da instalação de uma linha de transmissão. Nessa fase, são instalados os acessórios da linha, normalmente de segurança. Esses acessórios são as esferas de sinalização, pára-raios de sistema, reatores shunt, pintura da torre para sinalização, entre outros.



Figura 12.8 – Instalação de esfera de sinalização.



Figura 12.9 – pára-raios de sistema em torre de transmissão com pintura para sinalização.

A instalação completa de uma linha de transmissão é demorada, demandando meses ou até anos para sua conclusão. Por isso, o projeto de construção de uma linha de transmissão deve contemplar um possível aumento na demanda de energia a ser transportada. Ou seja, ao projetar uma linha de transmissão, deve-se levar em conta projeções futuras da utilização da energia elétrica no centro consumidor onde a linha será instalada.

12. MANUTENÇÃO

As linhas de transmissão são o elo entre a geração e o consumo da energia elétrica. Com isso, é um enorme problema para as concessionárias de energia elétrica se algum problema ocorrer com essas linhas, pois o centro consumidor ficará sem energia, e muitos poderão ocorrer. Por essa razão, a manutenção é algo tão importante nesse equipamento, principalmente a manutenção preventiva, que evita a ocorrência de falhas e acidentes.

Inúmeros autores são unânimes quanto à importância de fazer a manutenção em qualquer equipamento. Abaixo, temos uma lista de alguns benefícios que ela pode proporcionar.

- **Segurança melhorada:** instalações bem mantidas tendem a apresentar um menor desvio do comportamento previsto e a proporcionar menores riscos ao pessoal;
- **Confiabilidade aumentada:** menos tempo perdido com consertos e menores gastos com possíveis interrupções da produção;
- **Maior qualidade:** representada pelo melhor desempenho dos equipamentos que se comportam segundo um padrão determinado, de modo a não comprometer a qualidade dos produtos ou serviços;
- **Tempo de vida mais longo:** os cuidados direcionados aos equipamentos permitem uma redução de problemas de operação, desgastes, deterioração e outros que podem reduzir o tempo de vida das instalações;
- **Custos de operação mais baixos:** instalações que recebem manutenção regularmente funcionam de forma mais eficiente.

A atividade de manutenção em linhas de transmissão é regulamentada pela ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). Para um melhor desempenho do sistema elétrico nacional foram criados os “Procedimentos de Rede” referentes ao “Acompanhamento da Manutenção dos Sistemas Elétricos”. Eles têm como objetivo padronizar a operação, de modo a proporcionar um serviço de fornecimento de energia elétrica nos níveis e

padrões de qualidade e confiabilidade requeridos pelos consumidores e aprovados pela ANEEL.

O trabalho de manutenção das linhas de transmissão é realizado em três dos seus componentes.

12.1 – MANUTENÇÃO DO TERRENO ONDE ESTÁ INSTALADO A TORRE

Essa manutenção é importante para evitar a interferência da vegetação local no bom funcionamento da linha de transmissão e para que os acessos à torre estejam em condições que permitam o trânsito dos veículos de manutenção que transportam pessoal, ferramentas e instrumentos. Essa manutenção segue normas da ABNT com relação à altura máxima da vegetação abaixo das linhas. Esse serviço deve ser feito, de modo que, além de cortar a vegetação, essa vegetação cortada deve ser retirada do local para evitar incêndios com a vegetação seca. A figura 12.1 mostra essa manutenção sendo realizada.



Figura 12.1 – Manutenção do terreno de uma linha de transmissão.

12.2 – MANUTENÇÃO DA TORRE

A manutenção das torres de transmissão de energia elétrica deve ser feita de modo a conservar a estrutura, evitando acidentes. Ela contempla o aperto ou troca de parafusos, troca de isoladores, substituição de peças corroídas e retencionamento dos tirantes de aço que sustentam torres estaiadas. Na figura 12.2 há a imagem de trabalhadores realizando a manutenção em uma torre de transmissão.



Figura 12.2 – Manutenção em torre de transmissão de energia elétrica.

12.3 – MANUTENÇÃO DOS ISOLADORES E CABOS CONDUTORES

Nessa manutenção, são contemplados os isoladores e seus acessórios, os cabos pára-raios, e o correto funcionamento dos cabos condutores. Esta atividade possibilita corrigir defeitos nos isoladores, espaçadores-amortecedores, cabos condutores e demais componentes da linha, como mostra a figura 12.3.



Figura 12.3 – Manutenção de isoladores em linha de 500kV.

A manutenção desses componentes da linha de transmissão pode ocorrer de três formas, que são:

12.3.1 - Corretiva

A manutenção ocorre para consertar algum componente da linha que sofreu algum dano. Esse tipo de manutenção deve ser evitado ao máximo, pois caso ocorra algum problema na linha, haverá falta de energia no centro consumidor. Essa falta pode gerar multa para a concessionária e problemas nos centros. Ela é necessária, normalmente, por ocorrência de fenômenos naturais, como tempestades e vendavais.

12.3.2 - Preventiva

Manutenção com objetivo de substituição de componentes da linha que necessitam de troca em intervalos de tempo regulares e pré-determinados. Ela é pouco utilizada, pois existem poucos equipamentos que precisam de troca nesse tipo de intervalo. Mais utilizado para definir a manutenção anual que deve ocorrer nas linhas de transmissão.

12.3.3 - Preditiva

Manutenção mais realizada em linhas de transmissão. Ela consiste na verificação visual ou por intermédio de equipamentos especiais, da necessidade de manutenção em determinados componentes. É caracterizada, basicamente, pelo aperto, troca e regulagem de parafusos, e ferragens em geral; medições de ruído elétrico, medições de resistência do aterramento e as medições de campo elétrico que podem resultar na troca de diversos componentes como cabos pára-raios, isoladores, conversores, entre outros. Outra manutenção preditiva é a manutenção da vegetação através da poda das árvores de acordo com a taxa de crescimento da vegetação local. Além disso a verificação e o retencionamento, se necessário, dos tirantes de aço que sustentam torres estaiadas.

Outro fator importante a ser levado em consideração na manutenção das linhas de transmissão, é a sua possível realização em linhas vivas (energizadas), como é mostrado na figura 12.4. Com isso, não é necessária a interrupção do fornecimento de energia elétrica, que pode causar problemas. Para realizar manutenção em linha viva, as equipes devem ser bem treinadas e seguir alguns procedimentos de segurança. Alguns acessórios também são necessários, tais como roupa metálica especial condutiva, bota condutiva, bastões e escada constituídos de fibra de vidro e resina epóxi, bastão para equiparação de potencial e corda especiais. A realização dessa manutenção, sem riscos, segue o princípio da gaiola de Faraday, que demonstra que uma superfície condutora eletrizada possui campo elétrico nulo em seu interior. A roupa metálica do eletrcista é equipotencializada com a tensão da linha e se transforma numa gaiola de Faraday, garantindo o campo elétrico zero em seu interior, onde se encontra o eletrcista.



Figura 12.4 – Manutenção em linha de transmissão energizada de 500kV

13.NORMAS

- **NBR5422 (1985)** - Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica
- **NBR6535 (2005)** - Sinalização de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica com vista à segurança da inspeção aérea - Procedimento
- **NBR6547 (1986)** - Ferragem de linha aérea
- **NBR6548 (1981)** - Eletrotécnica e eletrônica - Transmissão de energia elétrica em corrente contínua de alta tensão
- **NBR7095 (1981)** - Ferragens eletrotécnicas para linhas de transmissão e subestações de alta tensão e extra alta tensão
- **NBR7276 (2005)** - Sinalização de advertência em linhas aéreas de transmissão de energia elétrica - Procedimento
- **NBR7430 (1982)** - Manuseio e lançamento de cabos CAA em linhas de transmissão de energia elétrica
- **NBR7563 (1982)** - Grupo de acoplamento para sistemas de ondas portadoras em linhas de alta tensão
- **NBR8146 (1983)** - Equipamento terminal de ondas portadoras em linhas de alta tensão
- **NBR8449 (1984)** - Dimensionamento de cabos pára-raios para linhas aéreas de transmissão de energia elétrica
- **NBR8664 (1984)** - Sinalização para identificação de linha aérea de transmissão de energia elétrica
- **NBR8842 (1985)** - Suportes metálicos treliçados para linhas de transmissão - Resistência ao carregamento
- **NBR8850 (1985)** - Execução de suportes metálicos treliçados para linhas de transmissão
- **NBR8853 (1982)** - Porca sextavada de segurança para estruturas metálicas de linhas de transmissão e subestações
- **NBR9980 (1987)** - Parafuso de cabeça redonda, para uso como escada de torres de linha de transmissão de energia elétrica - Características e dimensões

- **NBR9319 (1986)** - Linhas aéreas de tração elétrica - Disposições gerais
- **NBR9381 (1986)** - Projeto de linhas aéreas de trolebus e bondes
- **NBR12524 (1991)** - Símbolos gráficos de usinas geradoras, subestações e linhas para sistemas energéticos e para sistemas de telecomunicação
- **NBR13018 (1993)** - Corda para trabalho em instalação energizada - Transmissão
- **NBR14074 (2004)** - Cabos pára-raios com fibras ópticas (OPGW) para linhas aéreas de transmissão
- **NBR15237 (2005)** - Esfera de sinalização diurna para linhas aéreas de transmissão de energia elétrica - Especificação
- **NBR15238 (2005)** - Sistema de sinalização para linhas aéreas de transmissão de energia elétrica

14. PREÇO

O custo de uma linha de transmissão depende de seis fatores, são eles:

- Tensão;
- Tipo de circuito;
- Tipo de terreno;
- Distância da linha
- Cabo condutor e
- Temperatura do projeto.

Assim, pode-se elaborar uma tabela relacionando todos esses dados (Tabelas com exemplos de custos em redes de 138kV e 230kV).

Custos De Estruturas Em 1000 R\$/km											
TIPO DE TERRENO =>			PLANO			NORMAL			ACIDENTADO		
TEMP. DE PROJETO =>			50	70	90	50	70	90	50	70	90
138	CS	CAA 266	37,90	38,93	39,77	33,15	34,10	35,03	27,65	28,29	28,87
		ACAR 355	44,40	45,27	46,07	39,70	40,57	41,33	32,39	33,30	33,93
		AAAC 394	36,03	37,23	38,50	32,12	33,43	34,40	27,34	28,65	29,52
		CAA 397	38,77	39,60	41,07	34,73	35,77	36,77	29,12	29,68	30,32
		ACSR TW 397	38,50	39,40	40,23	33,87	34,67	35,50	28,34	28,81	29,51
		AAAC 465	36,57	37,73	38,80	32,71	33,87	34,97	28,19	29,22	30,03
	CAA 636	41,90	42,70	43,50	37,13	37,87	38,60	33,97	34,50	34,97	
	CD	CAA 266	52,63	54,30	55,73	46,90	48,37	49,67	39,53	40,43	42,23
		AAAC 394	50,17	52,17	54,23	45,97	47,67	49,30	39,43	41,20	42,27
		CAA 397	53,83	55,17	56,50	48,60	49,70	50,70	42,07	43,00	43,80
AAAC 465		51,40	52,97	54,50	46,27	47,63	49,00	40,67	42,33	43,27	
CAA 636	58,63	59,47	60,30	52,87	53,93	54,80	48,57	49,40	50,00		
230	CS	CAA 397	64,13	65,77	67,27	55,07	56,50	58,00	44,23	45,20	46,20
		CAA 636	65,13	66,70	68,13	55,93	57,30	58,77	47,17	48,17	48,87
		AAAC 652	59,70	62,03	64,20	51,20	53,37	55,23	43,60	44,87	46,47
		CAA 900	70,83	72,23	73,47	61,00	62,33	63,47	52,17	52,97	53,77
	CD	CAA 397	81,07	82,87	84,80	76,07	77,40	78,53	74,33	75,07	75,70
		CAA 636	88,80	89,57	90,50	88,43	89,30	89,93	91,87	92,77	93,63
		AAAC 652	81,93	83,33	84,63	82,20	83,47	84,87	84,90	86,53	87,77
		CAA 900	98,67	99,47	100,2	99,03	100,0	100,6	103,6	103,9	104,9

TEMP. DE PROJETO =>			120	150	180	120	150	180	120	150	180
138	CS	ACSS 397	45,87	46,67	47,20	40,37	40,87	41,43	33,80	34,27	35,00

Custos De Estruturas Valores Percentuais (* = valor base)											
TIPO DE TERRENO =>			PLANO			NORMAL			ACIDENTADO		
TEMP. DE PROJETO =>			50	70	90	50	70	90	50	70	90
138	CS	CAA 266	106,0	108,9	111,2	92,7	95,3	97,9	77,3	79,1	80,7
		ACAR 355	124,1	126,6	128,8	111,0	113,4	115,6	90,6	93,1	94,9
		AAAC 394	100,7	104,1	107,6	89,8	93,5	96,2	76,4	80,1	82,5
		CAA 397	108,4	110,7	114,8	97,1	100,0*	102,8	81,4	83,0	84,8
		ACSR TW 397	107,6	110,2	112,5	94,7	96,9	99,3	79,2	80,6	82,5
		AAAC 465	102,2	105,5	108,5	91,4	94,7	97,8	78,8	81,7	84,0
	CAA 636	117,1	119,4	121,6	103,8	105,9	107,9	95,0	96,5	97,8	
	CD	CAA 266	105,9	109,3	112,1	94,4	97,3	99,9	79,5	81,4	85,0
		AAAC 394	100,9	105,0	109,1	92,5	95,9	99,2	79,3	82,9	85,0
		CAA 397	108,3	111,0	113,7	97,8	100,0*	102,0	84,6	86,5	88,1
AAAC 465		103,4	106,6	109,7	93,1	95,8	98,6	81,8	85,2	87,1	
CAA 636	118,0	119,7	121,3	106,4	108,5	110,3	97,7	99,4	100,6		
230	CS	CAA 397	111,9	114,8	117,4	96,1	98,6	101,2	77,2	78,9	80,6
		CAA 636	113,7	116,4	118,9	97,6	100,0*	102,6	82,3	84,1	85,3
		AAAC 652	104,2	108,3	112,0	89,4	93,1	96,4	76,1	78,3	81,1
		CAA 900	123,6	126,1	128,2	106,5	108,8	110,8	91,0	92,4	93,8
	CD	CAA 397	90,8	92,8	95,0	85,2	86,7	87,9	83,2	84,1	84,8
		CAA 636	99,4	100,3	101,3	99,0	100,0*	100,7	102,9	103,9	104,9
		AAAC 652	91,8	93,3	94,8	92,0	93,5	95,0	95,1	96,9	98,3
		CAA 900	110,5	111,4	112,2	110,9	112,0	112,6	116,0	116,3	117,5

TEMP. DE PROJETO =>			120	150	180	120	150	180	120	150	180
138	CS	ACSS 397	128,2	130,5	132,0	112,9	114,3	115,8	94,5	95,8	97,9

15. ANEXOS

- **Anexo 01** - Cálculo de sobretensões em LT's oriundas da interação direta com descargas atmosféricas. Autores: Marco Aurélio O. Schroeder, Amilton Soares Jr. e Silvério Visacro.
- **Anexo 02** - Guia para Medição de Vibração em Linhas de Transmissão
- **Anexo 03** - Sinalizador Noturno Fotovoltaico da Linhas de Transmissão
- **Anexo 04** - Estudo sobre Vibração Eólica em Linhas de Transmissão
- **Anexo 05** - Reisolamento para 138 kV em uma LT de 69 kV com estruturas de concreto armado Fonte:XIV SNPTEE, Autor: Diversos (Copel)
- **Anexo 06** - Aplicação de Pára-Raios ZnO em linha de 138 kV Fonte: XIV SNPTEE, Autor: Diversos (Furnas-USP)
- **Anexo 07** - Nova LT - Um Novo Conceito de Linha de Transmissão Fonte: XVII SNPTEE, Autor: Hildebrando Cândido Coelho - Sinergia E C Ltda.
- **Anexo 08** - Gestão Ambiental em Linhas de Transmissão Fonte: XVII SNPTEE, Autores: Diversos (Chesf)
- **Anexo 09** - Análise dos custos de medidas de redução de impacto de linhas aéreas de transmissão sobre vegetação nativa Fonte:XVII SNPTEE, Autores: Diversos (Engetran).
- **Anexo 10** - Repotencialização de Linhas de Transmissão - Aspectos Técnicos e Ambientais. Fonte: XVI SNPTEE, Autor: Diversos (EPTE).
- **Video 01** - Manutenção de Linhas de Transmissão com o uso de helicóptero
- **Video 02** - Ensaio Para-Raio para LT 63kA

16. FONTES DE CONSULTA

- **Fuchs, Rubens Dario.** Projeto Mecânico de Linhas Aéreas de Transmissão; São Paulo-SP 1978.
- **Basto, Oscar Teixeira.** Apostila de Transmissão de Energia Elétrica 1 – 3ª parte; Recife-PE 2002.
- **Santos, Reive Barros dos.** Apostila de Transmissão de Energia Elétrica 2 – Aspectos Elétricos; Recife-PE 2003.
- **Pavlik, B.L.,** Tecnologia de ferragem para linhas de AT e EAT,
- **Elgerd, Olle I.,** Introdução à teoria de sistemas de energia elétrica
- **Celpe,** Padrão de Estruturas de Linhas de Transmissão 69kV PE-002 1999.
- **Celpe,** Padrão de materiais de 69kV PM-002 1999.
- www.linhadetransmissao.com.br
- <http://www.bimetal.eng.br/conteudo.php?sid=43&parent=28>
- <http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/>
- <http://www.linhadetransmissao.com.br/links/eletrosul.htm>
- <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F5112236FF3E3BABD0325740900681598?OpenDocument&secao=Transmissao%3AAtivos>
- <http://www.artigos.com/artigos/sociais/administracao/manutencao-das-linhas-de-transmissao-de-energia-eletrica:-um-estudo-de-caso-na-cotesa-engenharia-169/artigo/>
- http://www.furnas.com.br/arqtrab/ddppg/revistaonline/linhadireta/rf339_torres.pdf
- <http://www.themag.com.br/Docs/LINHAS%20CD.pdf>
- <http://www.epte.com.br/faixa.html>
- <http://www.dsee.fee.unicamp.br/~sato/ET515/node49.html#SECTION00611000000000000000>
- <http://www.dsee.fee.unicamp.br/~ccastro/cursos/et720/Cap5-parte1.pdf>