

WORKSHOP PARA MODERNIZAÇÃO DA NORMATIZAÇÃO RELACIONADA AO SEGMENTO DE TRANSMISSÃO – BRASIL

21/09/2023

UMA BREVE ANÁLISE DE APECTOS DE APLICABILIDADE DA ABNT NBR 6122 PARA PROJETOS DE FUNDAÇÕES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (LTs)

Eng. Alex de Barros – Msc – TURING ENGENHARIA
alex.barros@turingengenharia.com.br

REALIZAÇÃO:



CARGAS ATUANTES NAS FUNDAÇÕES DE LTs

NATUREZA DOS CARREGAMENTOS

- Os carregamentos nas fundações de linhas de transmissão (LTs) têm a mesma natureza das cargas solicitantes nas torres. Desta forma, a correta avaliação do desempenho das fundações passa pelo entendimento da origem das cargas nas torres de transmissão.

SEQUÊNCIA PREFERENCIAL DE FALHA

- (IEC 60826) As falhas em fundações de LTs geralmente geram maiores esforços de recuperação e intervenção em relação aos outros elementos constituintes do sistema (torres, cabos condutores, acessórios, etc.). Desta forma, em LTs preferencialmente as fundações devem ser as últimas a falharem.



CARGAS EM TORRES

NORMAS:

As ações nas torres são obtidas através das seguintes normativas no Brasil:

- **ABNT NBR 5422** - Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica;
- **IEC 60826 (européia)** - Design criteria of overhead transmission lines (**principalmente**).

Ações do vento:

- As ações de vento aplicadas nas torres são de natureza **ÚLTIMA**;
- O **PERÍODO DE RETORNO** do empreendimento é o balizador as ações últimas nas estruturas das torres.
- No Brasil **NÃO** são fornecidos os carregamentos nas fundações das torres em termos de valores característicos.

Nota:

O vento é ação de natureza aleatória;

O vento é, via de regra (*), **a ação mais severa** em uma torre.

(*). Exceto CROSS ROPE.



EXEMPLO REAL

- **T O R R E ACS (Autoportante cara-de-gato de suspensão, LT 500kV, circuito simples, período de retorno de projeto T=250 anos, IEC 60826)**

MODELO 1:

Estrutura real (executada) para período de retorno de projeto T=250 anos;

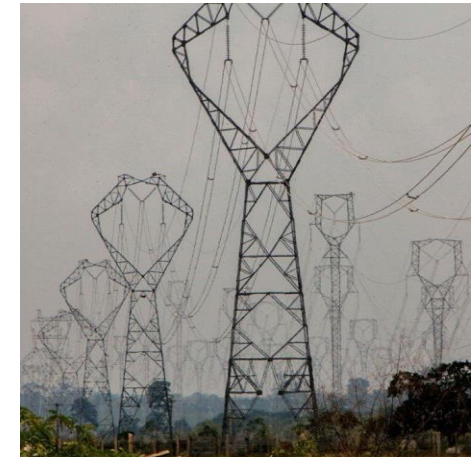
MODELO 2:

Carregamento sem vento;

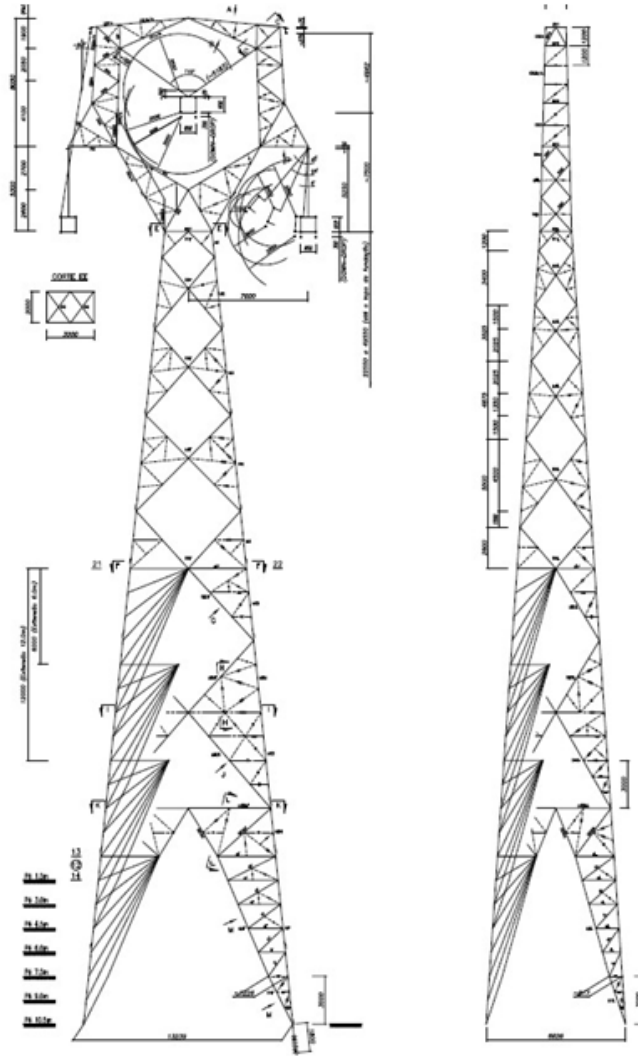
MODELO 3:

Estrutura avaliada para período de retorno de projeto T=50 anos

(“T=50 anos” admitido como associado às ações características geradas pelo vento)



TORRE ACS – CARGAS ÚLTIMAS REAIS DA TORRE – T=250 ANOS



1

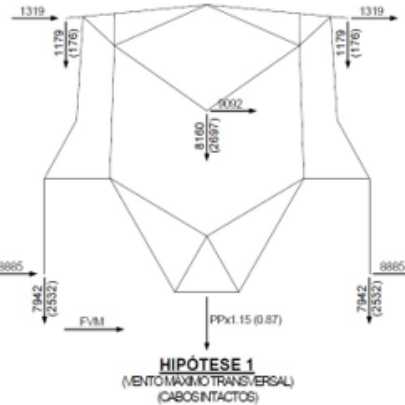
COMPLETO - T=250 ANOS

CARGAS COM VERTICAL DE COMPRESSÃO

Hip.= 3-60	T = 14092	V = -104957	L = 8714	COMB.= A0
Hip.= 3-75	T = 15166	V = -100581	L = 7865	COMB.= A1
Hip.= 3	T = 13562	V = -93349	L = 9558	COMB.= A1
Hip.= 3-60	T = 14975	V = -100344	L = 8927	COMB.= A1
Hip.= 3-75	T = 14092	V = -104084	L = 7830	COMB.= A0
Hip.= 3-60R	T = 13611	V = -100265	L = 8389	COMB.= A0
Hip.= 3-60R	T = 14408	V = -95157	L = 8543	COMB.= A1

CARGAS COM VERTICAL DE TRACÃO

Hip.= 3-60R	T = 12150	V = 86460	L = 7482	COMB.= A0
Hip.= 3-75R	T = 12896	V = 80977	L = 6441	COMB.= A1
Hip.= 3R	T = 11256	V = 73290	L = 8119	COMB.= A1
Hip.= 3-60R	T = 12671	V = 80468	L = 7498	COMB.= A1
Hip.= 3-75R	T = 12179	V = 85841	L = 6608	COMB.= A0
Hip.= 3-75R	T = 11590	V = 82310	L = 6283	COMB.= B0
Hip.= 3-60R	T = 11430	V = 81883	L = 6990	COMB.= B0



C=105 tf

T=86,5 tf

Carregamento
"REAL" conforme
IEC 60826 (T = 250
anos)

- Cargas Reais;
- Projeto Executivo;
- T= 250 Anos. |

TORRE ACS – CARGAS ÚLTIMAS DA TORRE, SEM VENTO

2

EDS- T=250 ANOS

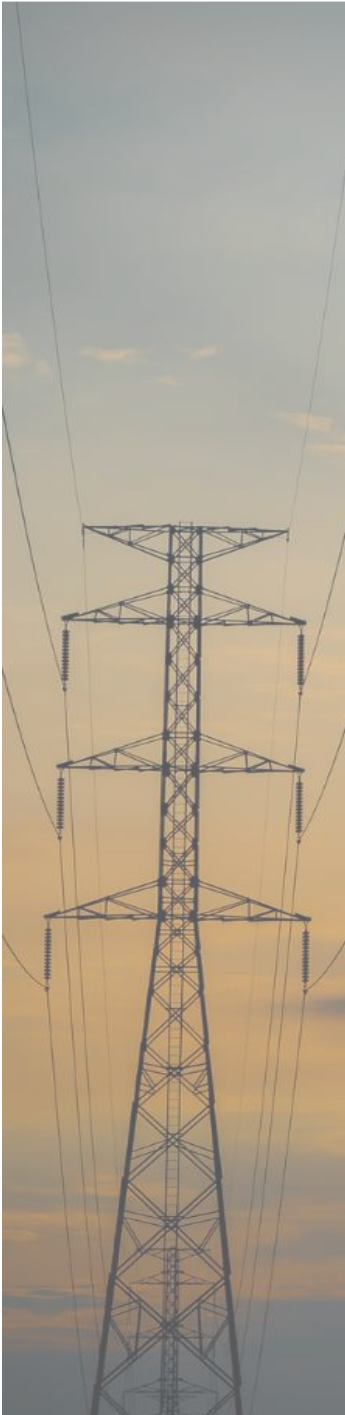
Hip.= EDS	T =	1115	V =	-9940	L =	727	COMB.= A1
Hip.= EDS	T =	1080	V =	-9378	L =	700	COMB.= B1
Hip.= EDS	T =	965	V =	-9375	L =	634	COMB.= A0
Hip.= EDS	T =	1059	V =	-9141	L =	685	COMB.= C1
Hip.= EDS	T =	1092	V =	-8629	L =	701	COMB.= D1

C=9,94 tf

T=0,0 tf

Carregamento
condição sem
vento.





TORRE ACS – CARGAS ÚLTIMAS DA TORRE – T=50 ANOS

COMPLETO - T = 50 anos

3

CARGAS COM VERTICAL DE COMPRESSÃO

Hip. = 3-60	T = 10134	V = -76362	L = 6288	COMB. = A0
Hip. = 3-75	T = 10917	V = -73437	L = 5727	COMB. = A1
Hip. = 3	T = 9845	V = -68764	L = 6927	COMB. = A1
Hip. = 3-60	T = 10805	V = -73452	L = 6478	COMB. = A1
Hip. = 3-75	T = 10113	V = -75572	L = 5661	COMB. = A0
Hip. = 3	T = 9377	V = -72200	L = 6587	COMB. = A0
Hip. = 3-60R	T = 10240	V = -68087	L = 6084	COMB. = A1

CARGAS COM VERTICAL DE TRACÃO

Hip. = 3-60R	T = 8222	V = 57782	L = 5043	COMB. = A0
Hip. = 3-75R	T = 8687	V = 53528	L = 4275	COMB. = A1
Hip. = 3R	T = 7597	V = 48787	L = 5477	COMB. = A1
Hip. = 3-60R	T = 8556	V = 53472	L = 5028	COMB. = A1
Hip. = 3-75R	T = 8215	V = 57061	L = 4416	COMB. = A0
Hip. = 3-60R	T = 7736	V = 54755	L = 4710	COMB. = B0
Hip. = 3-75R	T = 7821	V = 54753	L = 4199	COMB. = B0

C=76,4 tf

T=57,78 tf |

Carregamento completo
conforme EC 60826 (T = 50
anos).

COMPILAÇÃO DE RESULTADOS

VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DO IEC60826

CONDIÇÃO	PERÍODO DE RETORNO	COMPRESSÃO NA FUNDAÇÃO	(n)/(1)
CARREGAMENTO REAL	250 anos	104,95 tf	1,00
CARREGAMENTO CARACTERÍSTICO	50 anos	76,36 tf	1,37
CARREGAMENTO SEM VENTO	-	9,94 tf	10,56

VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DO IEC60826

CONDIÇÃO	PERÍODO DE RETORNO	TRAÇÃO NA FUNDAÇÃO	(1)/(n)
CARREGAMENTO REAL	250 anos	86,46 tf	1,00
CARREGAMENTO CARACTERÍSTICO	50 anos	57,78 tf	1,50
CARREGAMENTO SEM VENTO	-	0,00 tf	-

ABNT NBR 6122 - PROJETO E EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES

MÉTODOS PARA O DIMENSIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES (valores admissíveis e valores de cálculo)

3.30

método de valores admissíveis

método em que as forças ou tensões de ruptura são divididas por um fator de segurança global e a condição de verificação da segurança é:

$$P_{adm} = R_k / FS_g \text{ e } P_{adm} \geq S_k$$

onde

P_{adm} é a tensão admissível de sapatas e tubulões e carga admissível de estacas;

R_k representa as forças ou tensões características de ruptura (últimas);

S_k representa as solicitações características;

FS_g é o fator de segurança global.

NÃO há disponibilidade desta informação (as cargas são últimas).



3.31

método de valores de cálculo

método em que as forças ou tensões características de ruptura são divididas pelo coeficiente de ponderação das resistências, as solicitações características são multiplicadas pelos coeficientes de ponderação, e a condição de verificação da segurança é:

$$R_d = R_k / \gamma_m \text{ e } S_d = S_k \cdot \gamma_f \text{ e } R_d \geq S_d$$

onde

NÃO há disponibilidade destas informações

R_d representa a tensão resistente de cálculo para sapatas ou tubulões ou a força resistente de cálculo para estacas;

S_d representa as solicitações de cálculo;

γ_f coeficiente de ponderação dos valores característicos das solicitações;

γ_m coeficiente de ponderação dos valores característicos das resistências: tensão de ruptura sob sapatas ou bases de tubulões, ou carga de ruptura de estacas

NBR 6122 – AÇÕES NAS FUNDAÇÕES

5 Ações nas fundações

5.1 Ações provenientes da superestrutura

Os esforços, determinados a partir das ações e suas combinações, conforme prescrito na ABNT NBR 8681, devem ser solicitados ao projetista da estrutura, a quem cabe individualizar qual o conjunto de esforços para verificação dos estados limites últimos (ELU) e qual o conjunto para verificação dos estados limites de serviço (ELS). Esses esforços devem ser fornecidos em valores de cálculo, já afetados pelos coeficientes de combinação e de ponderação da ABNT NBR 8681.

Para o caso de o projeto de fundações ser desenvolvido utilizando fator de segurança global, devem ser solicitados ao projetista estrutural os valores dos coeficientes pelos quais as solicitações de cálculo devem ser divididas, em cada caso, para reduzi-las às solicitações características.

Os esforços devem ser fornecidos no nível do topo das fundações (no caso de edifícios, o topo dos baldrame, no caso de pontes o topo dos blocos ou sapatas) ou no nível da interface entre os projetos (superestrutura e fundações/infraestrutura), devendo ficar bem caracterizado esse nível.

As ações são classificadas conforme sua variabilidade no tempo, conforme prevê a ABNT NBR 8681:

a) ações permanentes (peso próprio, sobrecarga permanente, empuxos etc.);

NBR 6122 – EFEITO DO VENTO

6.3 Efeito do vento

6.3.1 Solicitações e combinações para o dimensionamento com efeito de vento

O dimensionamento dos elementos de fundação deve ser feito com base nas solicitações obtidas a partir das combinações de ações, atendendo os requisitos da ABNT NBR 8681, já contemplando todos os seus efeitos de primeira e segunda ordens globais.

6.3.2 Método de valores admissíveis (com valores característicos)

No caso de galpões industriais, torres de linhas de transmissão, reservatórios elevados, silos graneleiros, torres eólicas, torres de telecomunicações e tanques de produtos químicos, nos quais o vento é a ação variável principal, os valores de tensão admissível de sapatas e tubulões e de cargas admissíveis em estacas podem ser majorados em até 30 %. Quando esta majoração for utilizada, o fator de segurança global não pode ser inferior a 1,6. Caso a majoração não seja utilizada, podem ser aplicados todos os requisitos desta Norma relativos ao valor do fator de segurança global.

6.3.3 Método de valores de cálculo

Quando a verificação das solicitações for feita considerando-se as combinações nas quais o vento é a ação variável principal, os valores de tensão resistente de cálculo de sapatas e tubulões e de forças resistentes de cálculo de estacas podem ser majorados em até 10 %.

Deve ser feita a verificação estrutural do elemento de fundação.





NBR 6122 – PROVAS DE CARGA

8.2.1.1 Provas de carga

A carga de ruptura pode ser determinada por provas de carga executadas de acordo com a ABNT NBR 12131.

A determinação da carga admissível ou da força resistente de cálculo deve ser feita de acordo com 6.2.1.2.2. Essa determinação deve ainda levar em conta que durante a prova de carga o atrito lateral é sempre positivo, enquanto algumas condições de carregamento poderão gerar atrito negativo durante a vida útil da estaca.

ENSAIOS DE ARRANCAMENTO EM FUNDAÇÕES DE LTs (para fundações em solo e rocha):

Aspectos dos ensaios de convalidação e de rotina em elementos tracionados em solo e rocha:

- 2 ou 3 ciclos de aplicações de cargas (3º ciclo com ruptura);
- A carga de tração aplicada em estágios sucessivos de carregamento de descarregamento;
- Definição de condições de aceitação com deslocamentos máximos para ciclos de carregamento (1º e 2º) e designação de deslocamento residual aceitável.

NBR 6122 – QUANTIDADE DE PROVAS DE CARGA

9.22 Fundação em estacas

9.22.1 Quantidade de provas de carga

É obrigatória a execução de provas de carga estáticas de desempenho, no decorrer do estaqueamento, em obras que tiverem um número de estacas superior ao valor especificado na coluna (B) da Tabela 6.

Quando atingido o limite de exigibilidade de provas de carga de desempenho (ver Tabela 6), o número de provas de carga deve ser estabelecido da seguinte forma: calcular 1 % do número total de estacas da obra, arredondando para uma casa decimal, e em seguida arredondar o número obtido, com uma casa decimal, para o número inteiro mais próximo, considerando que o dígito 5 sempre é arredondado para cima. Incluem-se nesse 1 % as provas de carga executadas conforme 6.2.1.2.2. A quantidade de estacas a ser considerada é a soma das estacas de todas as edificações da obra, mesmo que de diferentes tipos. Incluem-se as estacas da periferia e das demais construções da obra, não consideradas as estacas exclusivamente de contenção e de muros de fechamento.

Quando atingido o limite de exigibilidade de provas de carga de desempenho (ver Tabela 6), pelo menos uma prova de carga estática ou ensaios de carregamento dinâmico devem ser feitos nas estacas da edificação principal da obra.

É necessária a execução de prova de carga, qualquer que seja o número de estacas da obra, se elas forem empregadas para tensões de trabalho superiores aos valores indicados na coluna (A) da Tabela 6.

Nas obras em que os carregamentos principais provenientes da estrutura, nas condições de utilização mais frequentes durante a vida útil, forem os esforços de tração ou os esforços horizontais, é obrigatória a execução de prova de carga específica à tração ou esforço horizontal, com os mesmos critérios citados nesta subseção.

Em obras de arte especiais (pontes e viadutos), com vão superior a 30,0 m ou com mais de três vãos (quatro linhas de apoio), é obrigatória a realização de ensaio de carga (prova de carga estática ou ensaio de carregamento dinâmico).



OUTROS ASPECTOS RELEVANTES EM LTs

- Experiência de projeto de fundações de LTs em outros países;
- Critérios de execução de sondagem à percussão tipo SPT para linhas de transmissão;
- Definição de quantidade de ensaios estáticos e dinâmicos em uma LT;
- Deslocamentos laterais máximos admitidos para uma fundação durante sua vida útil;
- Aspectos relacionados às definições de fundações (LISTA DE DEFINIÇÕES OU LISTA GEOTÉCNICA);
- Aspectos relacionados ao nível de confiabilidade (projeto baseado na confiabilidade) do empreendimento.



MUITO OBRIGADO!



**Eng. Alex de Barros – Msc – TURING ENGENHARIA
(31)99103-3288**

alex.barros@turingengenharia.com.br