

Dimensionando uma estrutura vertical

Aspectos fundamentais de projeto

Análise NBR 6123

Quando um cliente necessita de uma estrutura vertical para telecomunicações, deve informar os seguintes itens que são fundamentais para que o projetista possa dimensioná-la:

1. Tipo de estrutura
2. Altura
3. Carregamento de antenas
4. Vento de sobrevivência baseado na NBR 6123 informando: V_0 , S_1 , S_2 e S_3
5. Deflexão máxima para o vento operacional

A correta definição destes parâmetros irá possibilitar o dimensionamento de uma estrutura mais segura e econômica.

Analisando item a item:

1. Tipo de estrutura:

Deve ser informado qual o tipo de estrutura será utilizado: torre, poste, estrutura em topo de prédio tipo "roof-top", etc



Poste metálico



Torre auto portante



Roof-top

Esta definição deve ser feita site a site atentando para os seguintes aspectos:

1.a. Disponibilidade, dimensões e custos dos terrenos ou áreas em topo de prédio

Por exemplo, na grande maioria dos sites em áreas urbanas a solução "poste" é mais econômica que a solução "torre" por requerer uma menor área de implantação. É fundamental que o cliente faça a análise do custo do terreno adicionado ao custo da torre.

1.b. Legislação municipal

A legislação municipal deve ser consultada pois muitas prefeituras estão restringindo o uso de torres treliçadas principalmente pelo aspecto estético. Vide maiores detalhes no capítulo 10.5

2. Altura da estrutura

Definida pelo projetista dos enlaces de microondas que também definiu a da altura de outras antenas, como por exemplo, antenas painel.

O comando aéreo regional - COMAR também deve ser consultado para verificar eventuais restrições de altura nas regiões de cone de aproximação de aeronaves.

3. Carregamento de antenas - AEV

Deve ser informada a efetiva área de antenas exposta ao vento.

Esta área é obtida multiplicando-se a área da antena pelo respectivo coeficiente de arrasto que é função de seu formato. Pela boa prática, o mercado adota os seguintes coeficientes:

Coeficiente	Tipo de antenas
1,6	Parabólicas fechadas, antenas sólidas de microondas
1,2	Painel / Celular / SMP / WLL, parabólicas abertas, VHF, UHF, helicoidais, etc

O fabricante normalmente irá considerar que este carregamento está na situação mais crítica, ou seja, no topo da estrutura.

A informação da altura exata de cada tipo de antena também propiciará uma estrutura mais econômica.

4. Vento de sobrevivência baseado na NBR 6123 informando: Vo, S1, S2 e S3

Nas estruturas de telecomunicações, o principal carregamento atuante é devido à ação do vento. A determinação da intensidade de carga provocada por este fenômeno depende de diversos parâmetros, como por exemplo, a velocidade máxima do vento que pode ocorrer durante a vida útil da estrutura e o tempo de atuação de uma rajada de vento.

Para solucionar este problema busca-se determinar estatisticamente, através de um tempo de recorrência, o número médio de ocorrências de qualquer velocidade do vento que se queira, ou, depois de prefixada a vida útil da estrutura, determinar a velocidade máxima do vento que tem uma certa probabilidade de ocorrer ao menos uma vez neste período.

Próximo à superfície terrestre, o vento é influenciado pela rugosidade do terreno, constituindo-se uma camada limite, na qual a velocidade do vento é variável. Esta rugosidade é devida à topografia local e à altura das estruturas em geral. A partir de uma certa altura, que varia de 300m a 600m, o vento é denominado vento gradiente, pois está fora da camada limite e sua velocidade é constante. Estruturas em geral estão na faixa de velocidade variável, sofrendo a ação da turbulência e do perfil de velocidade do vento, que são função, principalmente, da rugosidade do terreno.

A Norma Brasileira NBR 6123 – “Força devidas ao vento em edificações” fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeito do cálculo de edificações.

Principais convenções adotadas para as estruturas verticais:

Vo = Velocidade básica do vento

S1 = Fator topográfico

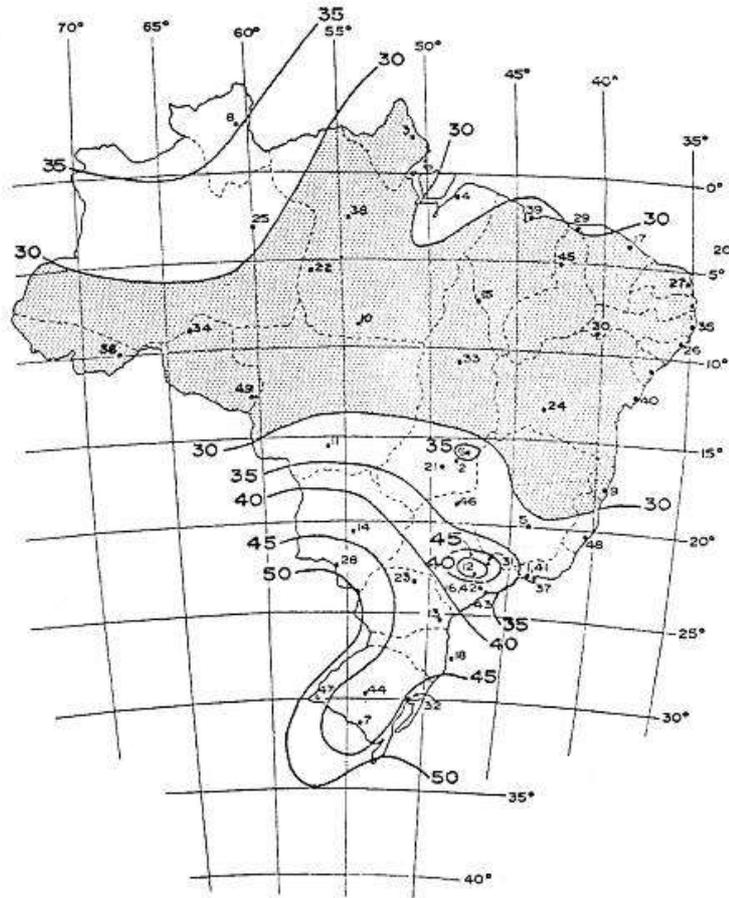
S2 = Fator de rugosidade.

S3 = Fator estatístico

Definições

Vo = Velocidade básica do vento

É a velocidade de uma rajada de 3s, excedida em média uma vez em 50 anos a 10m acima do terreno, em campo aberto e plano. A NBR 6123 publica o gráfico das isopleias da velocidade básica no Brasil, com intervalos de 5 m/s, conforme:

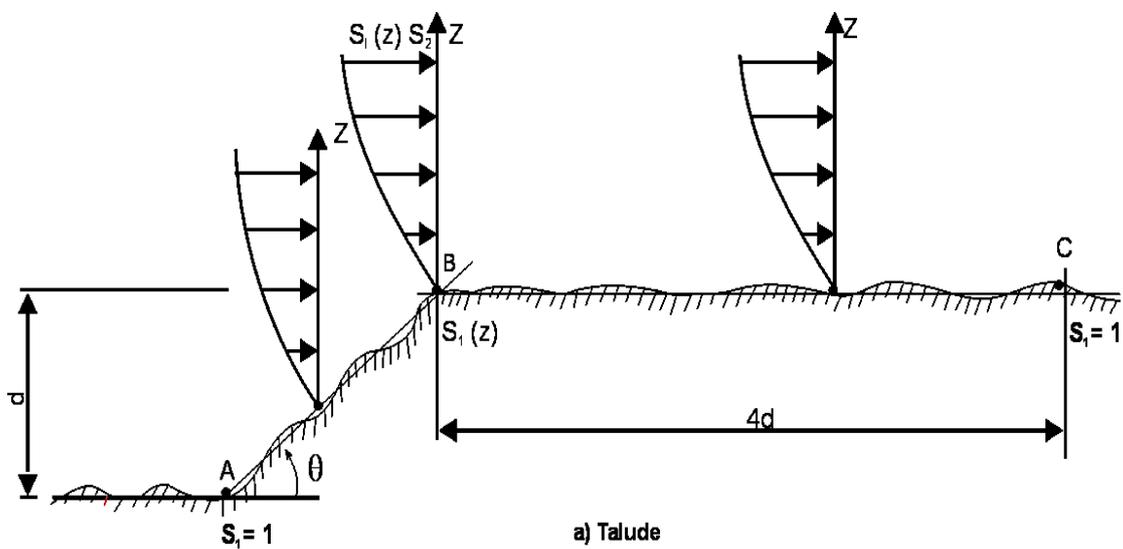


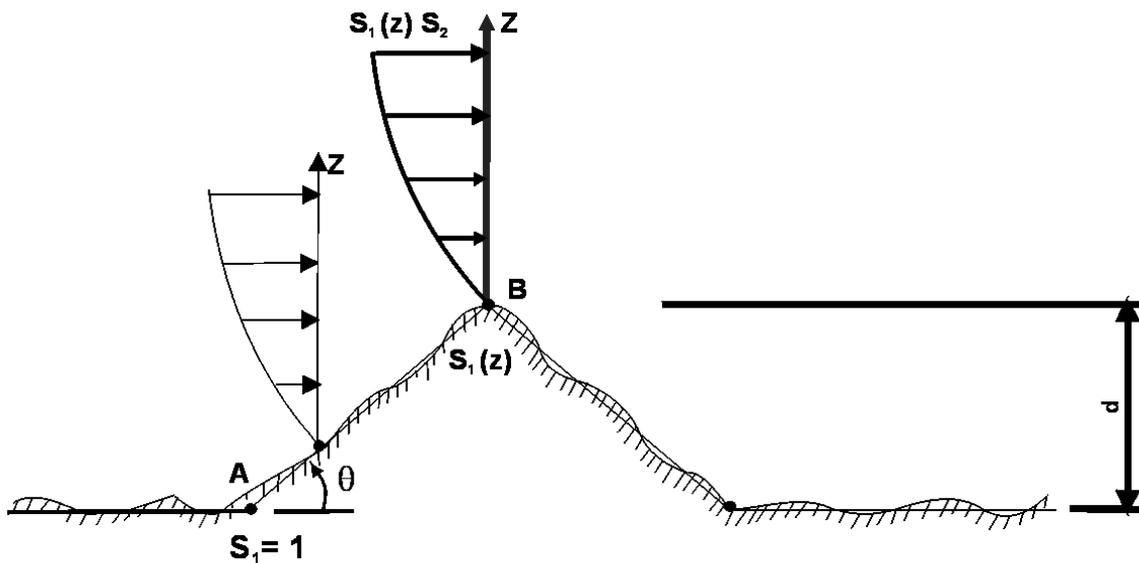
Mapa das Isopletas do Brasil

S_1 = Fator Topográfico

Leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

- a. Para terreno plano ou fracamente acidentado adote $S_1 = 1,0$
- b. Vales profundos protegidos de ventos de qualquer direção adote $S_1 = 0,9$
- c. Para taludes e morros adote as seguintes fórmulas:





b) Morro

Taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na Figura a:

No ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes): $S_1 = 1,0$

No ponto B, S_1 é uma função $S_1 [(z)]:$

Inclinação do talude/morro (θ)	Fator topográfico S_1
$\theta \leq 3^\circ$	$S_1(z) = 1,0$
$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$	$S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \text{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1$
$\theta \geq 45^\circ$	$S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) 0,31 \geq 1$

Onde:

z = altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado

d = diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro

θ = inclinação média do talude ou encosta do morro

Nota:

Entre A e B e entre B e C, o fator S_1 é obtido por interpolação linear.

Interpolar linearmente para $3^\circ < \theta < 6^\circ$ e $17^\circ < \theta < 45^\circ$

Os valores indicados acima constituem uma primeira aproximação e devem ser usados com precaução.

Se for necessário um conhecimento mais preciso da influência do relevo, ou se a aplicação destas indicações torna-se difícil pela complexidade do relevo, é recomendado o recurso a ensaios de modelos topográficos em túnel de vento ou a medidas anemométricas no próprio terreno.

Fator S_2 – Fator de Rugosidade do Terreno

Leva em conta a rugosidade do terreno e altura da torre.

A rugosidade do terreno é dividida em cinco categorias:

Categoria I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão, medidas na direção e sentido do vento incidente. Exemplos:

- Mar calmo
- Lagos e rios
- Pântanos sem vegetação

Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Exemplos:

- Zonas costeiras planas
- Pântanos com vegetação rala
- Campos de aviação
- Pradarias e charnecas
- Fazendas sem sebes ou muros
- A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m

Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. Exemplos:

- Granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos
- Fazendas com sebes e/ou muros
- Subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas
- A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0m

Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e poucos espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Exemplos:

- Zonas de parques e bosques com muitas árvores
- Cidades pequenas e seus arredores
- Subúrbios densamente construídos de grandes cidades
- Áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas
- A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m

Esta categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na Categoria V.

Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e poucos espaçados. Exemplos:

- Florestas com árvores altas de copas isoladas
- Centro de grandes cidades
- Complexos industriais bem desenvolvidos
- A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25m

As classes são divididas em função da altura da estrutura

Classe	Altura da estrutura
A	$h \leq 20\text{m}$
B	$20\text{m} < h \leq 50\text{m}$
C	$h > 50\text{m}$

Com os valores da categoria e classe da estrutura, obtemos o S_2 da seguinte tabela:

CATEGORIA															
H (m)	I Classe			II Classe			III Classe			IV Classe			V Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04

Fator S_3 – Fator Estatístico

É baseado em conceitos estatísticos, considera o grau de segurança requerido e a vida útil da estrutura. A NBR 6123 adota um período de recorrência médio de 50 anos.

Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos Grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

A correta definição dos parâmetros V_0 , S_1 , S_2 e S_3 é fundamental pois serão utilizados para o cálculo de V_k = Velocidade característica do vento

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

E a velocidade característica do vento permite determinar a pressão dinâmica pela expressão:

$$q = 0,613V_k^2 \quad \text{sendo } q \text{ em N/m}^2 \text{ e } V_k \text{ em m/s}$$

5. Deflexão máxima da estrutura para o vento operacional

Deflexão máxima para o vento operacional, que a estrutura atenderá quando carregada com sua capacidade final de antenas.

Valor referente à deflexão máxima em relação ao eixo vertical e para rotação contida no plano horizontal que contém o eixo da antena mais alta.

Nota:

O fabricantes mais conscienciosos consideram o ângulo β_T , que é a situação mais crítica. Alguns fabricantes adotam simplesmente o β_D

β_T = Tilt = Ângulo da tangente ao topo do poste com a vertical

β_D = Deflexão = Ângulo formado pela flecha e a vertical

Conforme demonstrado no capítulo item 10.4 deste livro no trabalho Efeitos da dilatação térmica em torres a relação entre estes ângulos é de $\beta_T/\beta_D = 1,6$, ou seja, a Seccional adota o item mais crítico para segurança do cliente.

Usualmente adota-se vento operacional de 100km/h ou 55% de V_k onde $V_k = V_o \times S_1 \times S_2 \times S_3$
O valor adotado estará informado no corpo da proposta.

Exercício prático

Uma operadora de telefonia celular necessita implantar um site de 40m em Salvador BA.

O departamento de RF informou que serão utilizadas:

Para link entre os sites: Duas antenas marca Gabriel modelo GHF4-13

Para as antenas painel: 9 antenas marca EMS modelo FV65 1300 DA2

Deflexão para vento operacional: 1°40'

O "site survey" escolheu um terreno localizado próximo à área central da cidade

A diretoria da rede prevê que em breve a operadora fará a migração para o SMP e compartilhará o site com outra operadora.

Portanto chegamos à seguinte conclusão:

Tipo de estrutura: Poste

Por se tratar de área urbana, com pouco terreno disponível

Altura: 40m

Informado pelo departamento de RF

Carregamento das antenas: 12 m²

Do catálogo Gabriel : $\varnothing = 1,2m$ portanto a área = 1,13 m²

Do catálogo EMS: 1,21m x 0,30m = 0,36 m² x 9 = 3,27 m²

AEV = Área x coeficiente de arrasto = 1,13x1,6 + 3,27x1,2 = 5,73 m²

Como a diretoria da rede prevê um futuro compartilhamento com outras operadoras duplicamos esta área com uma pequena folga.

Vento de sobrevivência baseado na NBR 6123 informando: V_0 , S_1 , S_2 e S_3

$V_0 = 30\text{m/s}$

Do mapa das isopletas

$S_1 = 1,0$

Terreno plano ou fracamente acidentado

$S_2 = 0,99$

Pois é categoria IV Classe B

Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e poucos espaçados, em zona urbanizada onde a cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m – categoria IV

A altura da estrutura está entre $20\text{m} < h \leq 50\text{m}$

$S_3 = 1,1$

Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva que é o caso de uma central de comunicação

Deflexão máxima para o vento operacional = $1^\circ 40'$

Que foi informada pelo departamento de RF