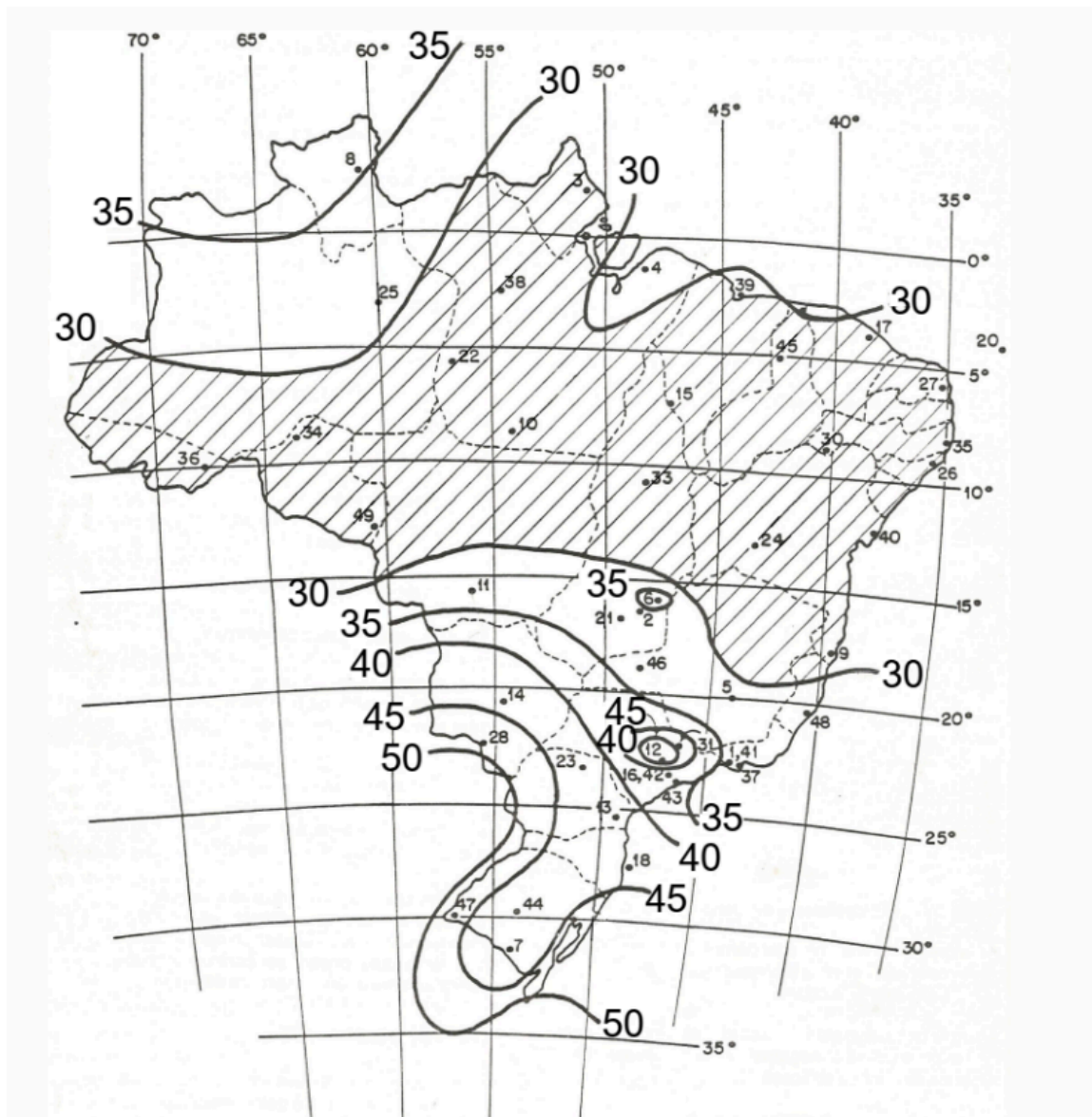


Dimensionamento usina segundo critérios mistos NBR-6123 e ASCE/SEI 7-22

```
In [1]: import numpy as np  
import matplotlib.pyplot as plt
```

Carga de vento segundo NBR-6123

Velocidade básica de vento



Fator S1

5.2 Fator topográfico, S_T

O fator topográfico, S_T , considera as variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

a) terreno plano ou fracamente acidentado:

$S_T = 1,0$

b) taludes e morros:

Este procedimento é aplicável a taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um escoamento de ar bidimensional soprando no sentido indicado na Figura 2.

No ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes):

$S_T = 1,0$

No ponto B (S_T é uma função $S_T(z)$); interpolar linearmente para $3^\circ < \theta_t < 6^\circ$ e $17^\circ < \theta_t < 45^\circ$:

$\theta_t \leq 3^\circ \quad S_T = 1,0$

$6^\circ \leq \theta_t \leq 17^\circ \quad S_T(z) = 1,0 + (2,5 - z/d_t) \lg(\theta_t - 3^\circ) \geq 1$

$\theta_t \geq 45^\circ \quad S_T(z) = 1,0 + (2,5 - z/d_t) 0,31 \geq 1$

onde

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

d_t é a diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro;

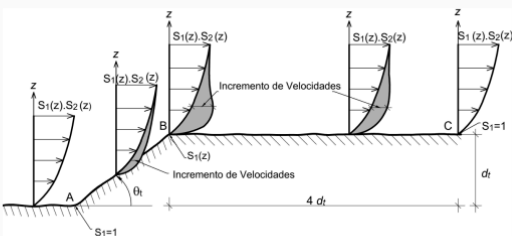
θ_t é a inclinação média do talude ou encosta do morro.

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

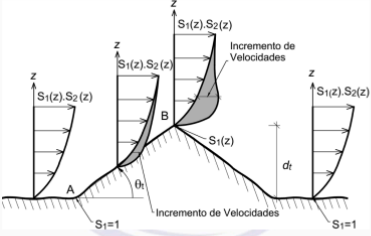
c) vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção

$S_T = 0,9$

Os valores indicados em 5.2-b) e 5.2-c) constituem uma primeira aproximação e devem ser usados com precaução.



a) Talude



b) Morro

Figura 2 – Fator topográfico $S_T(z)$

Fator S_2

Tabela 1 – Parâmetros meteorológicos

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b_m	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b_m	1,00	1,00	1,00
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b_m	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b_m	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b_m	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Tabela 2 – Fator de rajada

F_r	Classes		
	A	B	C
	1,00	0,98	0,95

- a) Classe A: toda edificação, estrutura, parte de edificação ou de estrutura, unidades e sistemas de vedação e seus elementos de fixação, cuja maior dimensão vertical ou horizontal não exceda 20 m;
- b) Classe B: toda edificação, estrutura, ou parte de edificação e estrutura, cuja maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal seja maior do que 20 m e menor ou igual a 50 m;
- c) Classe C: toda edificação, estrutura ou parte de edificação e estrutura, cuja maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

5.3.1 Rugosidade do terreno

Para os fins desta Norma, a rugosidade do terreno é classificada em cinco categorias (ver 5.3.1, Nota 1):

a) Categoria I: superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente;

EXEMPLOS mar calmo (ver 5.3.1, Nota 2), lagos, rios e pântanos sem vegetação.

b) 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, charnecas e fazendas sem sebes ou muros.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.

c) Categoria III: terrenos planos ou ondulados com obstáculos, 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 3,0 m.

d) Categoria IV: terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco 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 10 m.

Esta Categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não podem ser considerados na Categoria V.

e) Categoria V: terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e poucos espaçados.

EXEMPLOS florestas com árvores altas de copas isoladas, centros de grandes cidades, complexos industriais bem desenvolvidos.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m.

NOTA 1 A critério do projetista podem ser consideradas categorias intermediárias, interpolando os valores de p e b_m ou de S_2 indicados em 5.3.4 ou no Anexo A.

NOTA 2 Para mar agitado o valor do expoente p para uma hora pode chegar a 0,15, em ventos violentos. Em geral $p \approx 0,12$.

Fator S_3

Tabela 4 – Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3	T_p (anos)
1	Estruturas 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, edifícios de centrais de controle, etc.). Pontes rodoviárias e ferroviárias. Estruturas que abrigam substâncias inflamáveis, tóxicas e/ou explosivas. Vedações das edificações do grupo 1 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,11	100
2	Estruturas cuja ruína represente substancial risco à vida humana, particularmente a pessoas em aglomerações, crianças e jovens, incluindo, mas não limitado a: <ul style="list-style-type: none"> edificações com capacidade de aglomeração de mais de 300 pessoas em um mesmo ambiente, como centros de convenções, ginásios, estádios etc. creches com capacidade maior do que 150 pessoas; escolas com capacidade maior do que 250 pessoas; Vedações das edificações do grupo 2 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,06	75
3	Edificações para residências, hotéis, comércio, indústrias. Estruturas ou elementos estruturais desmontáveis com vistas a reutilização. Vedações das edificações do grupo 3 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,00	50
4	Edificações não destinadas à ocupação humana (depósitos, silos) e sem circulação de pessoas no entorno. Vedações das edificações do grupo 4 (telhas, vidros, painéis de vedação).	0,95	37
5	Edificações temporárias não reutilizáveis. Estruturas dos Grupos 1 a 4 durante a construção (fator aplicável em um prazo máximo de 2 anos). Vedações das edificações do grupo 5 (telhas, vidros, painéis de vedação).	0,83	15
NOTA Exclusivamente para o projeto das vedações, se permite que a velocidade característica seja calculada com o fator (0,92 x S_3), em vez de S_3			

Estimativa das cargas presentes

```
In [2]: V0=35 #m/s
S1=1
b=1
Fr=1
p=0.09
z=3 #m --> altura maxima da estrutura
S2=b*Fr*(z/10)**p
S3=0.95
alfa=20 #angulo maximo da estrutura em graus
#Considerando uma mesa com placas de 2x1.134metros duas placas em retrato por 30 pl
```

```
In [3]: Vk=V0*S1*S2*S3 #m/s
print ('Velocidade corrigida-->',Vk, 'm/s')

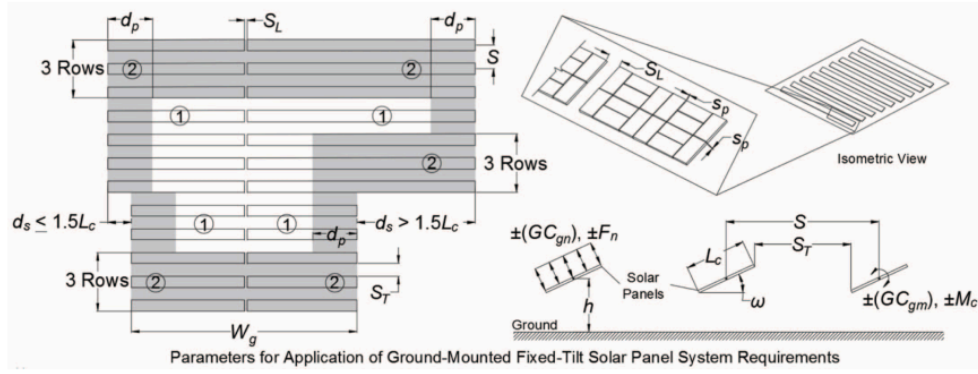
Velocidade corrigida--> 29.83544793825027 m/s
```

```
In [4]: q=0.613*Vk**2 #N/m2
print('q-->', q, 'N/m2')

q--> 545.6643736034139 N/m2
```

Estimativas segundo ASCE/SEI 7-22

Diagrams



Notation

d_p = horizontal distance of Zone 2 from row end, ft (m); $d_p = 4L_c$ or 30 ft (9.1 m), whichever is smaller.

d_s = horizontal offset between adjacent rows with staggered row ends, ft (m);

1. Where an open area for access and/or clearance purposes exceeds a distance equal to $0.25L_c$ in the longitudinal direction or $2S$ in the transverse direction, a new Zone 2 is formed where the array meets it.
2. Where $d_s > 1.5L_c$, the Zone 2 width shall be increased to d_s in the longitudinal direction.
3. The Zone 2 width shall always be three rows in the transverse direction.

$$6 \text{ ft (1.8 m)} \leq L_c \leq 14 \text{ ft (4.4 m)}$$

$$(W_g/L_c) \geq 7$$

$$0^\circ \leq \omega \leq 60^\circ$$

$$0.5 \leq (h/L_c) \leq 0.8$$

$$0.20 \leq (L_c/S) \leq 0.60$$

$$s_p \leq 0.014L_c$$

$$S_L \leq 0.25L_c$$

$$S_T \leq 2S$$

Number of rows ≥ 3

The rows have the same chord length.

The ratio of area blocked by support framing to total area below lowest edge of panels $\leq 8\%$ over any length of $4L_c$,

where

L_c = Panel chord length, ft (m).

W_g = Shortest row length in array, ft (m).

ω = Angle between the solar panels and the ground surface, degrees.

h = Mean height of panel, ft (m).

S = Center-to-center row spacing, ft (m).

s_p = Gap between adjacent panels in both directions.

S_L = Horizontal distance in longitudinal direction of open area within a single row.

S_T = Horizontal distance in transverse direction of open area between adjacent rows.

Table 26.6-1. Wind Directionality Factor, K_d .

Structure Type	Directionality Factor K_d
Buildings	
Main wind force resisting system	0.85
Components and cladding	0.85
Arched roofs	0.85
Circular domes	1.0*
Chimneys, tanks, and similar structures	
Square	0.90
Hexagonal	0.95
Octagonal	1.0*
Round	1.0*
Solid freestanding walls, roof top equipment, and solid freestanding and attached signs	0.85
Open signs and single-plane open frames	0.85
Trussed towers	
Triangular, square, or rectangular	0.85
All other cross sections	0.95

Dados geométricos da usina

```
In [5]: Lc=4.0 #m
h=2.5 #m
S=6.8 #m
w=alfa #graus
Wg=35 #metros
Kd=0.85
```

Verificação geometria usina

```
In [6]: if Lc>=1.8 and Lc<=4.4:
print(f"Lance da mesa ok, Lc= {Lc:0.2f}")
else:
print(f"Geometria da mesa fora do especificado, Lc= {Lc:0.2f}")
```

Lance da mesa ok, Lc= 4.00

```
In [7]: if Wg/Lc>=7:
print(f"Largura mínima da fileira ok, Wg/Lc={Wg/Lc:0.2f}")
```



```
else:
    print(f"Largura da fileira fora do especificado, Wg/Lc={Wg/Lc:0.2f}")
```

Largura mínima da fileira ok, Wg/Lc=8.75

```
In [8]: if 0.5<=h/Lc and h/Lc<=0.8:
        print(f"Razão h/Lc está ok, h/Lc={h/Lc:0.2f}")
        else:
            print(f"Razão h/Lc está fora do especificado, h/Lc={h/Lc:0.2f}")
```

Razão h/Lc está ok, h/Lc=0.62

```
In [9]: if 0.2<=Lc/S and Lc/S<=0.6:
        print(f"A razão Lc/S está ok, Lc/S={Lc/S:0.2f}")
        else:
            print(f"A razão Lc/S não está ok, Lc/S={Lc/S:0.2f}")
```

A razão Lc/S está ok, Lc/S=0.59

```
In [10]: print(f' O gap entre paineis na vertical deve ser menor que: {0.014*Lc:0.2f}m')
```

O gap entre paineis na vertical deve ser menor que: 0.06m

```
In [11]: print (f'O GAP entre mesas laterais deve ser menor que: {0.25*Lc:0.2f}m')
```

O GAP entre mesas laterais deve ser menor que: 1.00m

```
In [12]: print(f'O GAP entre mesas deve ser menor que: {2*S:0.2f}m')
```

O GAP entre mesas deve ser menor que: 13.60m

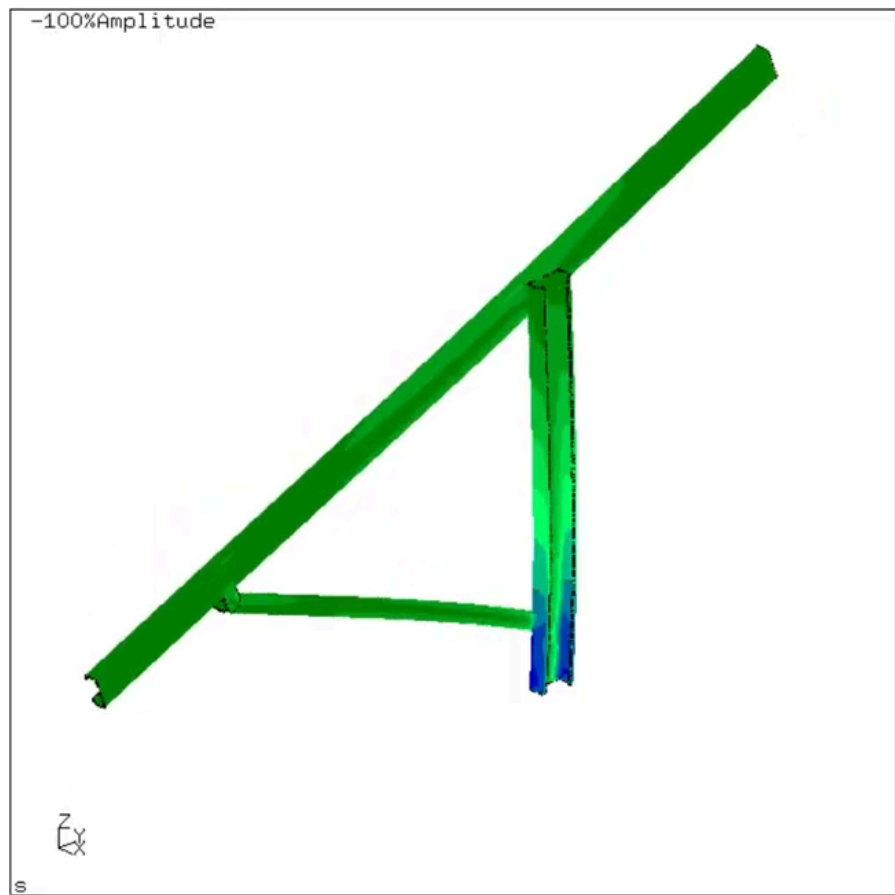
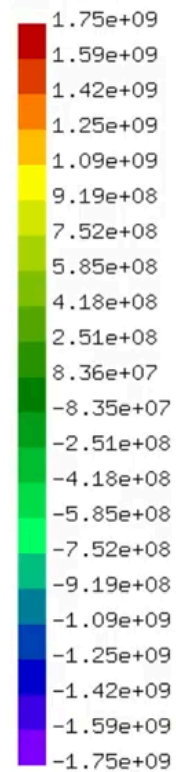
Dados sobre a frequência fundamental da estrutura

Modos de vibração

E I G E N V A L U E O U T P U T						
MODE NO	EIGENVALUE	FREQUENCY				
		REAL PART (RAD/TIME)	IMAGINARY PART (CYCLES/TIME)	IMAGINARY PART (RAD/TIME)		
1	0.2419108E+03	0.1555348E+02	0.2475414E+01	0.0000000E+00		
2	0.5069985E+03	0.2251663E+02	0.3583632E+01	0.0000000E+00		
3	0.1802585E+04	0.4245686E+02	0.6757219E+01	0.0000000E+00		
4	0.4734619E+04	0.6880857E+02	0.1095122E+02	0.0000000E+00		
5	0.2462001E+05	0.1569076E+03	0.2497263E+02	0.0000000E+00		
P A R T I C I P A T I O N F A C T O R S						
MODE NO.	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
1	-0.6431595E+01	-0.1473996E+00	-0.5140889E-01	0.2901250E+00	-0.4731584E+01	-0.1350949E+02
2	-0.1070251E+02	0.6069242E-01	-0.3881428E+00	-0.3372801E-01	-0.1629797E+02	0.3469324E+00
3	-0.2776558E-01	0.8669717E+01	0.3699622E+01	-0.2160237E+02	0.9361315E-01	-0.3438188E+00
4	-0.1095855E+01	0.2865944E+00	-0.2693752E+00	-0.4556857E+00	-0.1692198E+01	0.1155673E+00
5	0.3058089E+00	-0.2412543E+01	-0.6848775E+01	0.1974308E+01	0.2499219E+00	0.5205502E-01
E F F E C T I V E M O D A L M A S S						
MODE NO.	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
1	0.4136541E+02	0.2172665E-01	0.2642874E-02	0.8417249E-01	0.2238789E+02	0.1825063E+03
2	0.1145437E+03	0.3683570E-02	0.1506548E+00	0.1137579E-02	0.2656237E+03	0.1203621E+00
3	0.7709276E-03	0.7516399E+02	0.1368720E+02	0.4666622E+03	0.8763422E-02	0.1182114E+00
4	0.1200898E+01	0.8213633E-01	0.7256300E-01	0.2076495E+00	0.2863535E+01	0.1335580E-01
5	0.9351905E-01	0.5820365E+01	0.4690571E+02	0.3897893E+01	0.6246097E-01	0.2709725E-02
TOTAL	0.1572043E+03	0.8109190E+02	0.6081878E+02	0.4708531E+03	0.2909464E+03	0.1827610E+03
T O T A L E F F E C T I V E M A S S						
MODE NO.	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
	0.1636549E+03	0.1636549E+03	0.1636549E+03	0.4742408E+03	0.2915847E+03	0.1829302E+03

3/8:STRESS
Time:6.757220
Entity:Mises

max: 1.75e+09
min: 1.79e+04



rburcon/Downloads/solar_opensource/simula/portico_solar_simula_freq_mass_conc/_main.frc

Frequência reduzida

Dados

In [13]: `n=6.75 #hz -> frequencia fundamental do terceiro modo de vibração.`

In [14]: `N=n*Lc/Vk
print(f'A frequência reduzida é de: {N:0.2f}')`

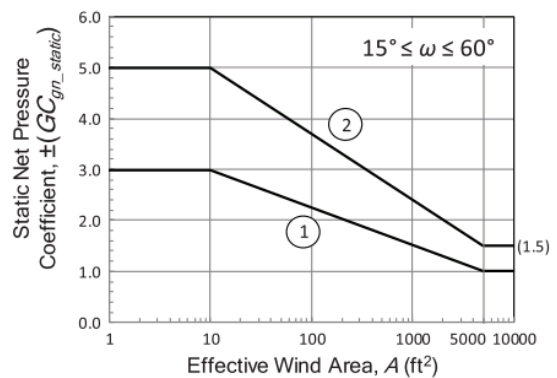
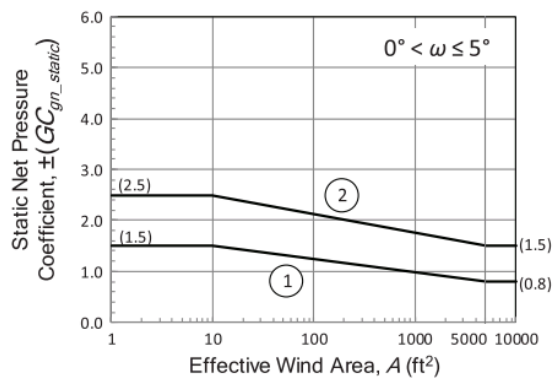
A frequência reduzida é de: 0.90

Área efetiva de vento (por fileira)

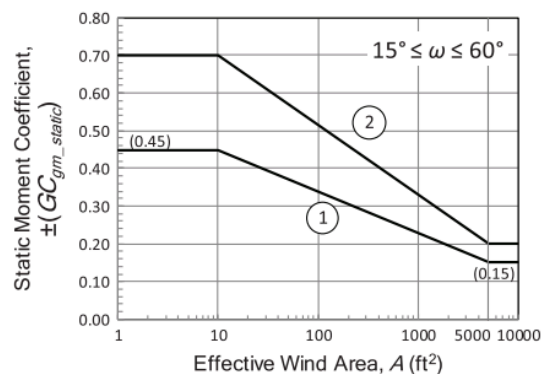
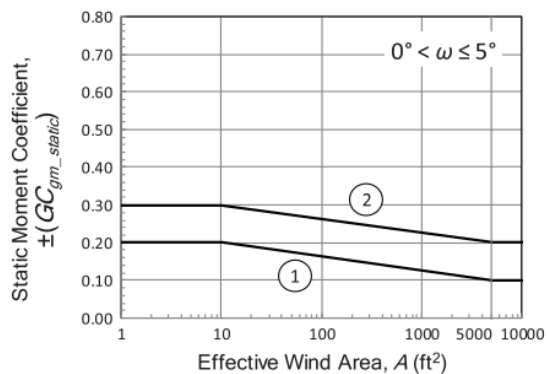
In [15]: `A=Wg*Lc #m2
A=A*10.7639 #ft2
print(f'Área efetiva por fileira: {A:0.2f}ft^2')`

Área efetiva por fileira: 1506.95ft^2

Static Net Pressure Coefficients for Zones 1 and 2 (GC_{gn_static})



Static Moment Coefficients for Zones 1 and 2 (GC_{gm_static})



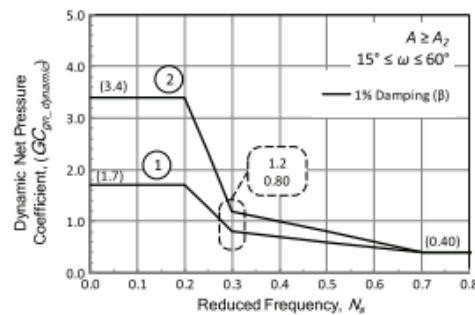
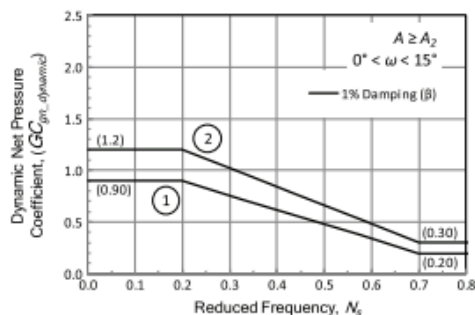
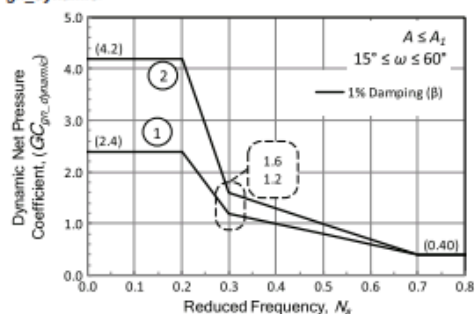
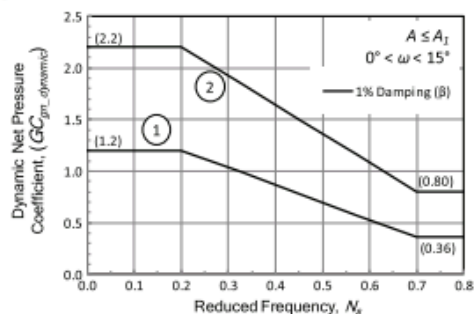
```
In [16]: #Coeficiente de pressão estático
GCgn_static_1=1.6 #fileira interna
GCgn_static_2=2.6 #fileira externa

#Coeficiente de momento estático
GCgm_static_1=0.22 #fileira interna
GCgm_static_2=0.34 #fileira externa
```

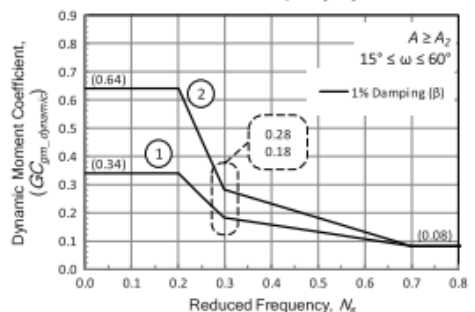
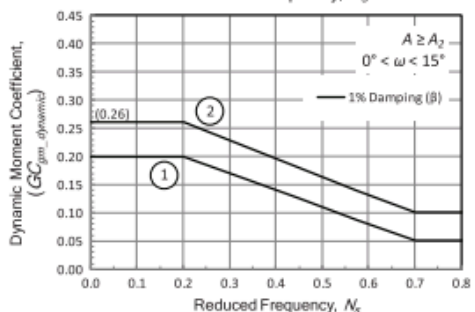
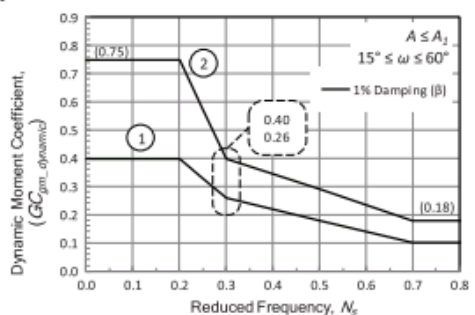
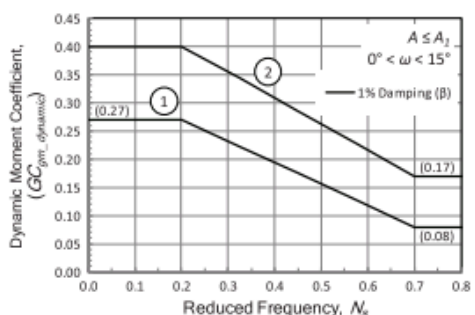
```
In [17]: A1=min(4*Lc**2,500)
A2=min(15*Lc**2,1000)
print(f'A1={A1:0.2f}')
print(f'A2={A2:0.2f}')
print(f'A={A:0.2f}')
```

```
A1=64.00
A2=240.00
A=1506.95
```


Dynamic Net Pressure Coefficients for Zones 1 and 2 ($GC_{gn_dynamic}$)



Dynamic Moment Coefficients for Zones 1 and 2 ($GC_{gm_dynamic}$)



```
In [18]: #Coeficiente de pressão dinâmico
GCgn_dynamic_1=0.4 #fila interna
GCgn_dynamic_2=0.4 #fila externa

#Coeficiente de momento dinâmico
GCgm_dynamic_1=0.1 #fila interna
GCgm_dynamic_2=0.1 #fila externa
```

Carregamentos de vento corrigido

```
In [19]: #Filas internas força
GCgn_1_1=(GCgn_static_1+GCgn_dynamic_1)
GCgn_1_2=(-GCgn_static_1+GCgn_dynamic_1)
GCgn_1_3=(-GCgn_static_1-GCgn_dynamic_1)
GCgn_1_4=(GCgn_static_1-GCgn_dynamic_1)

#Filas internas momento
GCgm_1_1=(GCgm_static_1+GCgm_dynamic_1)
```

```

GCgm_1_2=(-GCgm_static_1+GCgm_dynamic_1)
GCgm_1_3=(-GCgm_static_1-GCgm_dynamic_1)
GCgm_1_4=(GCgm_static_1-GCgm_dynamic_1)

#Filas externa força
GCgn_2_1=(GCgn_static_2+GCgn_dynamic_2)
GCgn_2_2=(-GCgn_static_2+GCgn_dynamic_2)
GCgn_2_3=(-GCgn_static_2-GCgn_dynamic_2)
GCgn_2_4=(GCgn_static_2-GCgn_dynamic_2)

#Filas externa momento
GCgm_2_1=(GCgm_static_2+GCgm_dynamic_2)
GCgm_2_2=(-GCgm_static_2+GCgm_dynamic_2)
GCgm_2_3=(-GCgm_static_2-GCgm_dynamic_2)
GCgm_2_4=(GCgm_static_2-GCgm_dynamic_2)

```

Forças

```

In [20]: #Fila interna
print(f'0 valor da F1 é +/- {abs(q*Kd*GCgn_1_1*A*0.092903):0.2f}N por mesa')
print(f'0 valor da F2 é +/- {abs(q*Kd*GCgn_1_2*A*0.092903):0.2f}N por mesa')
print(f'0 valor da F3 é +/- {abs(q*Kd*GCgn_1_3*A*0.092903):0.2f}N por mesa')
print(f'0 valor da F4 é +/- {abs(q*Kd*GCgn_1_4*A*0.092903):0.2f}N por mesa')

```

0 valor da F1 é +/- 129867.94N por mesa
 0 valor da F2 é +/- 77920.76N por mesa
 0 valor da F3 é +/- 129867.94N por mesa
 0 valor da F4 é +/- 77920.76N por mesa

```

In [21]: #Fila externa
print(f'0 valor da F1 é +/- {abs(q*Kd*GCgn_2_1*A*0.092903):0.2f}N por mesa')
print(f'0 valor da F2 é +/- {abs(q*Kd*GCgn_2_2*A*0.092903):0.2f}N por mesa')
print(f'0 valor da F3 é +/- {abs(q*Kd*GCgn_2_3*A*0.092903):0.2f}N por mesa')
print(f'0 valor da F4 é +/- {abs(q*Kd*GCgn_2_4*A*0.092903):0.2f}N por mesa')

```

0 valor da F1 é +/- 194801.91N por mesa
 0 valor da F2 é +/- 142854.73N por mesa
 0 valor da F3 é +/- 194801.91N por mesa
 0 valor da F4 é +/- 142854.73N por mesa

Momento

```

In [22]: #Fila interna
print(f'0 valor do M1 é +/- {abs(q*Kd*GCgm_1_1*A*0.092903*Lc):0.2f}N.m por mesa')
print(f'0 valor do M2 é +/- {abs(q*Kd*GCgm_1_2*A*0.092903*Lc):0.2f}N.m por mesa')
print(f'0 valor do M3 é +/- {abs(q*Kd*GCgm_1_3*A*0.092903*Lc):0.2f}N.m por mesa')
print(f'0 valor do M4 é +/- {abs(q*Kd*GCgm_1_4*A*0.092903*Lc):0.2f}N.m por mesa')

```

0 valor do M1 é +/- 83115.48N.m por mesa
 0 valor do M2 é +/- 31168.31N.m por mesa
 0 valor do M3 é +/- 83115.48N.m por mesa
 0 valor do M4 é +/- 31168.31N.m por mesa

```

In [23]: #Fila externa
print(f'0 valor do M1 é +/- {abs(q*Kd*GCgm_2_1*A*0.092903*Lc):0.2f}N.m por mesa')
print(f'0 valor do M2 é +/- {abs(q*Kd*GCgm_2_2*A*0.092903*Lc):0.2f}N.m por mesa')
print(f'0 valor do M3 é +/- {abs(q*Kd*GCgm_2_3*A*0.092903*Lc):0.2f}N.m por mesa')
print(f'0 valor do M4 é +/- {abs(q*Kd*GCgm_2_4*A*0.092903*Lc):0.2f}N.m por mesa')

```

O valor do M1 é +/- 114283.79N.m por mesa
O valor do M2 é +/- 62336.61N.m por mesa
O valor do M3 é +/- 114283.79N.m por mesa
O valor do M4 é +/- 62336.61N.m por mesa

In []: