

1.- ACÇÃO DO VENTO.....	2
1.1.- Dados gerais.....	2
1.2.- Pressão dinâmica.....	2
1.2.1.- Coeficiente de rugosidade.....	3
1.2.2.- Factor topográfico.....	4
1.2.3.- Pressão dinâmica por planta.....	4
1.3.- Pressão de cálculo.....	5
1.3.1.- Coeficientes de pressão.....	5
1.3.2.- Coeficiente de efeito de rajada.....	5
1.3.3.- Pressão de cálculo por planta.....	7
1.4.- Cargas de vento por planta.....	8



1.- ACÇÃO DO VENTO

Norma utilizada: NP EN 1991-1-4 (2005)

Eurocódigo 1: Acciones sobre las estructuras - Parte 1-4: Acciones generales - Acciones de viento.

Documento de Aplicação para Portugal.

Método de cálculo: Procedimento analítico (EN 1991-1-4 (2005), 5.1)

1.1.- Dados gerais

Dados da localização

V: Velocidade de referência (NP EN 1991-1-4 (2005), 4.2)

V : 27.0 m/s

Período de serviço: 50 anos

Categoria do terreno (NP EN 1991-1-4 (2005), 4.3.2)

Categoria III

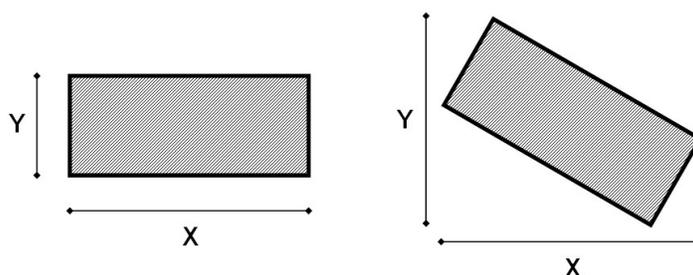
Orografia do terreno (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.3)

Direcção X [0° - 180°]: Plano

Direcção Y [90° - 270°]: Plano

Larguras de banda

Larguras de banda são os comprimentos da fachada exposta na direcção perpendicular à acção do vento.



Planta	Largura X (m)	Largura Y (m)
Piso 4	5.00	15.00
Piso 3	5.00	15.00
Piso 2	5.00	15.00
Piso 1	5.00	15.00

Coefficientes aplicados à acção do vento

+X: 1.00 -X: 1.00

+Y: 1.00 -Y: 1.00

1.2.- Pressão dinâmica

A pressão dinâmica de pico, q_p , à altura z , deve ser calculada usando a seguinte expressão:

$$q_p(z) = \left[1 + 7 \cdot I_v(z) \right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

Parâmetros necessários para a obtenção da pressão dinâmica

v_m : Velocidade média do vento (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.1)

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

v_b : Velocidade de referência do vento (EN 1991-1-4 (2005), 4.2)



Justification of wind action

exemplo

Data: 25/02/19

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot C_{prob} \cdot V_{b,0}$$

$V_{b,0}$: Valor básico da velocidade de referência do vento (NP EN 1991-1-4 (2005), 4.2)

$$V_{b,0} : \underline{27.0} \text{ m/s}$$

C_{dir} : Coeficiente de direcção (EN 1991-1-4 (2005), 4.2)

C_{season} : Coeficiente de sazão (EN 1991-1-4 (2005), 4.2)

$$C_{season} : \underline{1.00}$$

C_{prob} : Coeficiente de probabilidade (EN 1991-1-4 (2005), 4.2)

$$C_{prob} : \underline{1.00}$$

$$C_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0.98))} \right)^n$$

K: 0.1

n: 1.0

p: Período de serviço

$$p : \underline{50} \text{ anos}$$

$c_r(z)$: Coeficiente de rugosidade (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.2)

$c_o(z)$: Coeficiente de orografia (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.3)

r: Massa volúmica do ar (EN 1991-1-4 (2005), 4.5)

$$r : \underline{12.26} \text{ kN/m}^2$$

$I_v(z)$: Intensidade de turbulência à altura z (EN 1991-1-4 (2005), 4.4)

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad z_{\min} \leq z$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad z < z_{\min}$$

k_1 : Coeficiente de turbulência

$$k_1 : \underline{1.00}$$

c_o : Coeficiente de orografia (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.3)

z_0 : Comprimento da rugosidade (EN 1991-1-4 (2005), 4.1)

z_{\min} : Altura mínima (EN 1991-1-4 (2005), 4.1)

Produzido por uma versão para demonstração de CYPE

2.1.- Coeficiente de rugosidade

$c_r(z)$: Coeficiente de rugosidade (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.2)

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad z_{\min} \leq z$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad z < z_{\min}$$

$$k_r = 0.19 \cdot (z_0 / 0.05)^{0.07}$$

Parâmetros do terreno (EN 1991-1-4 (2005), Tabela 4.1)

Direcção	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
Exposição	Categoria III	Categoria III	Categoria III	Categoria III
z_0 (m)	0.30	0.30	0.30	0.30
z_{\min} (m)	8.00	8.00	8.00	8.00

Coeficiente de rugosidade por planta (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.2)



Justification of wind action

exemplo

Data: 25/02/19

$c_r(z)$				
Exposição	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
Piso 4	0.79	0.79	0.79	0.79
Piso 3	0.79	0.79	0.79	0.79
Piso 2	0.79	0.79	0.79	0.79
Piso 1	0.79	0.71	0.79	0.71

$c_r(h)$				
Exposição	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
h	0.79	0.79	0.79	0.79

1.2.2.- Factor topográfico

c_o : Coeficiente de orografia (EN 1991-1-4 (2005), A.3)

$$c_o = 1 \quad \Phi < 0.05$$

$$c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \Phi \quad 0.05 < \Phi < 0.3$$

$$c_o = 1 + 0.6 \cdot s \quad \Phi > 0.3$$

s: Coeficiente de localização orográfica (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.3)

F: Vertente virada a barlavento (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.3)

Coeficiente de localização orográfica (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.3)

Factor topográfico s(z)				
Direcção	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
Piso 4	0.00	0.00	0.00	0.00
Piso 3	0.00	0.00	0.00	0.00
Piso 2	0.00	0.00	0.00	0.00
Piso 1	0.00	0.00	0.00	0.00

Factor topográfico s(h)				
Direcção	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
h	0.00	0.00	0.00	0.00

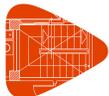
Coeficiente de orografia (EN 1991-1-4 (2005), A.3)

$c_o(z)$				
Direcção	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
Piso 4	1.00	1.00	1.00	1.00
Piso 3	1.00	1.00	1.00	1.00
Piso 2	1.00	1.00	1.00	1.00
Piso 1	1.00	1.00	1.00	1.00

$c_o(h)$				
Direcção	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
h	1.00	1.00	1.00	1.00

1.2.3.- Pressão dinâmica por planta

A pressão dinâmica de pico, q_p , à altura (EN 1991-1-4 (2005), 4.5), deve ser calculada usando a seguinte expressão:



$q_p(z)$ (kN/m ²)				
Planta	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
Piso 4	8176.20	8176.20	8176.20	8176.20
Piso 3	8176.20	8176.20	8176.20	8176.20
Piso 2	8176.20	8176.20	8176.20	8176.20
Piso 1	8176.20	7001.45	8176.20	7001.45

$q_p(h)$ (kN/m ²)				
Planta	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
h	8176.20	8176.20	8176.20	8176.20

1.3.- Pressão de cálculo

As pressões de cálculo exercidas pelo vento para o sistema principal resistente à força do vento devem ser determinadas através da seguinte expressão:

$$w = (q_p(z)C_{pe,u} - q_p(h)C_{pe,d}) \cdot c_s c_d \quad (\text{EN 1991-1-4 (2005), 5.2 e fig. 5.1})$$

Onde:

$q_p(z)$: Pressão dinâmica de pico à altura z

$q_p(h)$: Pressão dinâmica de pico à altura h

$C_{pe,u}$: Coeficiente de pressão exterior a barlavento

$C_{pe,d}$: Coeficiente de pressão exterior a sotavento

C_{scd} : Coeficiente estrutural (EN 1991-1-4 (2005), 6.3.1)

1.3.1.- Coeficientes de pressão

Direcção X [0° - 180°]

$C_{pe,u}$: Coeficiente de pressão exterior a barlavento (EN 1991-1-4 (2005), Tabela 7.1)

$$C_{pe,u} : \underline{0.72}$$

$C_{pe,d}$: Coeficiente de pressão exterior a sotavento (EN 1991-1-4 (2005), Tabela 7.1)

$$C_{pe,d} : \underline{-0.51}$$

h/d : Relação

$$h/d : \underline{2.4}$$

h : Altura da estrutura

$$h : \underline{12.00} \text{ m}$$

d : Profundidade da construção (comprimento paralelo à direcção do vento)

$$d : \underline{5.00} \text{ m}$$

b : Largura da construção (comprimento perpendicular à direcção do vento)

$$b : \underline{15.00} \text{ m}$$

Direcção Y [90° - 270°]

$C_{pe,u}$: Coeficiente de pressão exterior a barlavento (EN 1991-1-4 (2005), Tabela 7.1)

$$C_{pe,u} : \underline{0.66}$$

$C_{pe,d}$: Coeficiente de pressão exterior a sotavento (EN 1991-1-4 (2005), Tabela 7.1)

$$C_{pe,d} : \underline{-0.38}$$

h/d : Relação

$$h/d : \underline{0.8}$$

h : Altura da estrutura

$$h : \underline{12.00} \text{ m}$$

d : Profundidade da construção (comprimento paralelo à direcção do vento)

$$d : \underline{15.00} \text{ m}$$

b : Largura da construção (comprimento perpendicular à direcção do vento)

$$b : \underline{5.00} \text{ m}$$

1.3.2.- Coeficiente de efeito de rajada

Frequência fundamental

n_1 : Frequência fundamental

$$n_1 : \underline{3.83} \text{ Hz}$$

$$n_1 = \frac{46}{h}$$



Justification of wind action

exemplo

Data: 25/02/19

h: Altura da estrutura

h : 12.00 m

Coefficiente estrutural

O coeficiente estrutural determina-se através da expressão:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (\text{EN 1991-1-4 (2005), 6.3.1})$$

$I_v(z)$: Intensidade de turbulência à altura z (EN 1991-1-4 (2005), 4.4)

$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad z < z_{\min}$$

z_s : Altura de referência

$$z_s = \text{MAX}(0,6 \cdot h, z_{\min})$$

h: Altura da estrutura

h : 12.00 m

k_t : Coeficiente de turbulência

k_t : 1.00

c_o : Coeficiente de orografia (EN 1991-1-4 (2005), 4.3.3)

z_0 : Comprimento da rugosidade (EN 1991-1-4 (2005), Tabela 4.1)

z_{\min} : Altura mínima (EN 1991-1-4 (2005), Tabela 4.1)

k_p : Factor de pico (EN 1991-1-4 (2005), B.2)

$$k_p = \text{MAX} \left(\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}, 3 \right)$$

T: Duração de integração da velocidade média do vento

T : 600 s

v: Frequência de passagens ascendentes

$$v = n_1 \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0.08$$

n_1 : Frequência fundamental

$$n_1 = \frac{46}{h}$$

h: Altura da estrutura

h : 12.00 m

B^2 : Coeficiente de resposta quase-estática (EN 1991-1-4 (2005), B.2)

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9 \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0.63}}$$

b: Largura da construção (comprimento perpendicular à direcção do vento)

h: Altura da estrutura

$L(z)$: Escala de turbulência



$$L(z) = L_t \left(\frac{z}{z_t} \right)^\alpha \quad z \geq z_{\min}$$

$$L(z) = L(z_{\min}) \quad z \geq z_{\min}$$

$$L_t = 300m; z_t = 200m; \alpha = 0.67 + 0.05 \ln(z_0)$$

R^2 : Factor de resposta em ressonância (EN 1991-1-4 (2005), B.2)

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_1) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b)$$

d: Decremento logarítmico total de amortecimento

d : 0.10

$s_L(z, n)$: (EN 1991-1-4 (2005), B.1)

$$s_L(z, n) = \frac{6.8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10.2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}}$$

$$f_L(z_s, n_{1x}) = \frac{n_1 \cdot L(z)}{v_m(z)}$$

R_h, R_b : Funções de admitância aerodinâmica (EN 1991-1-4 (2005), B.2)

$$R_h = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}); \eta = \frac{4.6h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_1)$$

$$R_b = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}); \eta = \frac{4.6b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_1)$$

Parâmetros do terreno (EN 1991-1-4 (2005), Tabela 4.1)

Exposição	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
z_0 (m)	0.30	0.30	0.30	0.30
z_{\min} (m)	8.00	8.00	8.00	8.00

Cálculo do coeficiente estrutural, $c_s c_d$

Exposição	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
$I_v(z_s)$	0.30	0.30	0.30	0.30
$L(z_s)$	42.14	42.14	42.14	42.14
B^2	0.60	0.66	0.60	0.66
R^2	0.01	0.03	0.01	0.03
k_p	3.55	3.67	3.55	3.67
$c_s c_d$	1.00	1.00	1.00	1.00

1.3.3.- Pressão de cálculo por planta

Pressão de cálculo, w (EN 1991-1-4 (2005), 5.2 e fig. 5.1)



w (kN/m ²)				
Planta	Vento a 0°	Vento a 90°	Vento a 180°	Vento a 270°
Piso 4	1.03	0.86	1.03	0.86
Piso 3	1.03	0.86	1.03	0.86
Piso 2	1.03	0.86	1.03	0.86
Piso 1	1.03	0.79	1.03	0.79

1.4.- Cargas de vento por planta

As cargas de vento para o cálculo do sistema principal resistente à força do vento devem ser determinadas através da seguinte expressão:

$$F_i = p_i \cdot A_i \cdot c$$

Onde:

F_i : Carga de vento que actua na planta 'i'

p_i : Pressão de dimensionamento na planta 'i'

A_i : Área da planta 'i' sobre a qual actua a pressão de dimensionamento do vento

$$A_i = b_i \cdot h_i \quad [m^2]$$

b_i : Largura de banda da planta 'i' perpendicular à direcção de análise

h_i : Altura da planta 'i'

c : Coeficiente aplicado à acção do vento

Vento a 0° (+X)				
Planta	p (kN/m ²)	b (m)	h (m)	F (kN)
Piso 4	1.03	15.00	1.50	23.186
Piso 3	1.03	15.00	3.00	46.373
Piso 2	1.03	15.00	3.00	46.373
Piso 1	1.03	15.00	3.00	46.373

Vento a 90° (-Y)				
Planta	p (kN/m ²)	b (m)	h (m)	F (kN)
Piso 4	0.86	5.00	1.50	-6.482
Piso 3	0.86	5.00	3.00	-12.964
Piso 2	0.86	5.00	3.00	-12.964
Piso 1	0.79	5.00	3.00	-11.784

Vento a 180° (-X)				
Planta	p (kN/m ²)	b (m)	h (m)	F (kN)
Piso 4	1.03	15.00	1.50	-23.186
Piso 3	1.03	15.00	3.00	-46.373
Piso 2	1.03	15.00	3.00	-46.373
Piso 1	1.03	15.00	3.00	-46.373



Justification of wind action

exemplo

Data: 25/02/19

Vento a 270° (+Y)				
Planta	p (kN/m ²)	b (m)	h (m)	F (kN)
Piso 4	0.86	5.00	1.50	6.482
Piso 3	0.86	5.00	3.00	12.964
Piso 2	0.86	5.00	3.00	12.964
Piso 1	0.79	5.00	3.00	11.784

[Produzido por uma versão para demonstração de CYPE](#)