

UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE ESTRUTURAL DO CORPO DE 17 PISOS

DO EDIFÍCIO "PARQUE AMÉRICA" - S. JOÃO DA MADEIRA

TRABALHO REALIZADO NO INSTITUTO DA CONSTRUÇÃO

ADELINO ARAÚJO BRAGA

PORTO , DEZEMBRO , 1993



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca 27

Nº
CDU 624(047.3)/LEC 1992/BRA2
Data 02 / 10 / 2009



UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PARECER

Adelino Araújo Braga, aluno do 5º ano da Licenciatura em Engª Civil, realizou sob nossa orientação um estágio no Instituto da Construção subordinado ao tema "**Verificação estrutural dos corpos laterais (17 pisos) de um edifício em S. João da Madeira**".

O trabalho decorreu de forma satisfatória tendo o aluno feito o levantamento da estrutura a partir do projecto de arquitectura e efectuado o respectivo cálculo com programas de cálculo automático já existentes. Apresentou um relatório que consta do presente processo e resume o trabalho efectuado.

O aluno cumpriu com a assiduidade esperada e consideramos ter cumprido os objectivos inicialmente propostos.

Porto, 28 de Dezembro de 1993

O Supervisor pelo IC

Aristides Guedes Coelho
Director

O Supervisor pela FEUP

Manuel de Azeredo
Professor Associado

INTRODUÇÃO

Visto
2.3.94

Arredv

Obtenção dos pórticos:

Começa-se por dividir a estrutura em pórticos longitudinais, x , e transversais, y . Temos 7 pórticos longitudinais e 4 pórticos transversais. Como pórticos longitudinais temos $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ e x_7 . Os pórticos longitudinais x_5 e x_6 foram agrupados, somando as suas secções, devido a serem parecidos e, também, devido à presença da caixa de escadas, acompanhada da caixa de elevadores, que em cálculo automático vão ser considerados como um único pilar, logicamente bastante importante para o comportamento da estrutura, pois esse "pilar" irá ter uma área e uma inércia equivalente à área e inércia do conjunto formado pela caixa de escadas e elevador.

Como pórticos transversais temos y_1, y_2, y_3 e y_4 . Os pórticos transversais y_2 e y_3 foram agrupados pelas mesmas razões apontadas acima para os pórticos longitudinais x_5 e x_6 .

Cálculo dos pórticos às acções verticais:

Começamos por efectuar o estudo de cada um dos pórticos para as acções verticais. Começa-se por consultar o projecto existente para se conhecer as dimensões dos elementos de cada um dos pórticos, efectuando-se

de seguida a representação dos mesmos pórticos e dos seus dimensões. Numas fase posterior procede-se à quantificação das ações e serem aplicadas a cada um dos pórticos: ações permanentes e sobrecargas.

Cálculo dos pórticos às ações horizontais:

Associaram-se os pórticos em comboio, agrupando-os, de acordo com a sua semelhança, como se indica na secção respectiva. Para o cálculo da ação sísmica utilizou-se o método de Rayleigh.

Na ação do vento teve-se em atenção a pressão dinâmica e os coeficientes de pressão.

A obtenção das ações a actuar em cada pórtico, quer para o sismo quer para o vento, foi feita através do conhecimento das percentagens a distribuir por cada um dos pórticos.

Cálculo para as combinações de ações:

Admitiu-se que na nossa estrutura, actuam as seguintes ações:

Ações permanentes: peso próprio, G

Ações variáveis: sobrecarga, Q

vento, W

sismo, E

Assim, as combinações fundamentais que se consideram suficientes para o cálculo das ações da nossa estrutura são:

Ações de base - sobrecarga, Q :

$$\text{comb.1: } 1,5 \times G + 1,5 \times (Q_1 + Q_2) + 1,5 \times \psi_0 W \times W$$

$$\text{comb.2: } 1,5 \times G + 1,5 \times (Q_1 + Q_2) - 1,5 \times \psi_0 W \times W$$

$$\text{comb.3: } 1,5 \times G + 1,5 \times Q_1$$

$$\text{comb.4: } 1,5 \times G + 1,5 \times Q_2$$

Ações de base - vento, W :

$$\text{comb.5: } 1,5 \times G + 1,5 \times W + 1,5 \times \psi_0 Q \times (Q_1 + Q_2)$$

$$\text{comb.6: } 1,5 \times G - 1,5 \times W + 1,5 \times \psi_0 Q \times (Q_1 + Q_2)$$

Ações de base - sismo, E :

$$\text{comb.7: } G + 1,5 \times E + \psi_2 Q \times (Q_1 + Q_2)$$

$$\text{comb.8: } G - 1,5 \times E + \psi_2 Q \times (Q_1 + Q_2)$$

tendo-se considerado:

Q_1 - sobrecarga alternada nos tramos ímpares

Q_2 - sobrecarga alternada nos tramos pares

$Q_1 + Q_2$ - sobrecarga total

$$W \rightarrow \psi_0 = 0,6$$

$$Q \rightarrow \psi_0 = 0,4$$

$$Q \rightarrow \psi_2 = 0,2 \quad , \text{ que s\~ao os valores dos coeficientes de redu\c{c}\~ao}$$

Combinação	FACTORES DE COMBINAÇÃO				
	Ação G	Ação Q ₁	Ação Q ₂	Ação E	Ação W
1	1,5	1,5	1,5	0	1,5 x 0,6
2	1,5	1,5	1,5	0	-1,5 x 0,6
3	1,5	1,5	0	0	0
4	1,5	0	1,5	0	0
5	1,5	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	0	1,5
6	1,5	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	0	-1,5
7	1	0,2	0,2	1,5	0
8	1	0,2	0,2	-1,5	0

Estudo do pórtico longitudinal x 1

Lajes fungiformes:

Em virtude de termos na presença de lajes com vão relativamente pequenos, na ordem dos 5 metros, vou considerar que o tipo de laje fungiforme usada é a mais pequena das apresentadas pelos tabelos da Fercanorte, Lda. Assim temos para um metro de comprimento ($b = 1$ metro) e para 90 cm de laje, uma inércia: $I = 49561 \text{ cm}^4$ e uma área: $A = 816 \text{ cm}^2$. Sendo a largura de influência da laje no pórtico, $l_i = 3,45 \text{ m}$ e fazendo valores por metro de laje, temos:

$$I = \frac{49561 \times 1}{0,9} = 55067.78 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$A = \frac{816 \times 1}{0,9} = 906.67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I' = I \times l_i = 55067.78 \times 3,45 = 189983.84 \text{ cm}^4$$

$$A' = A \times l_i = 906.67 \times 3,45 = 3128.01 \text{ cm}^2$$

$$\begin{cases} I' = b h^3 / 12 \\ A' = b \times h \end{cases} \quad \begin{cases} 189983.84 \times 12 = b h^3 \\ b = \frac{3128.01}{h} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad \begin{aligned} h &= 27,00 \text{ cm} \\ b &= 115.87 \text{ cm} \end{aligned}$$

Quantificação das ações permanentes

$$G = (p.p. \text{ laje} + \text{div} + p.p. \text{ vigas} + \text{pilares} + \text{revest.}) \times \text{larg. de influência da viga} + p.p. \text{ parede exterior (quando existe)}$$

$$p.p. \text{ parede exterior} \approx 9 \text{ kN/m}$$

$$p.p. \text{ vigas} + \text{pilares} \approx 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{div} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{revest} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$p.p. \text{ Laje} = 3,65 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow G = 22,94 \text{ kN/m}, \text{ até ao 7º piso}$$

Quantidade de sobrecarga

largura de influência, $l_i = 3,45 \text{ m}$

$$Q = q_i \times l_i \quad , \quad q_i = 4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 13,8 \text{ kN/m}^2 \quad , \text{ até ao 7º piso}$$

Estudo do pórtico longitudinal x2

Laço frangiforme

Comprimento de influência da laje no pórtico, $l_i = 5,02 \text{ m}$

$$I = \frac{49561 \times 1}{0,9} = 55067,78 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$A = \frac{816 \times 1}{0,9} = 906,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I' = I \times l_i = 276440,26 \text{ cm}^4$$

$$A' = A \times l_i = 4551,48 \text{ cm}^2$$

$$I' = b h^3 / 12 \quad h = 27,00 \text{ cm}$$

$$A' = b \times h \quad \Rightarrow \quad b = 168,59 \text{ cm}$$

Quantificação dos eixos permanentes

até ao 7º piso $G = 33,38 \text{ kN/m}$

8º piso $G = 40,91 \text{ kN/m}$

Quant. fixas dos eixos variáveis (sobrecarga)

até ao 7º piso $Q = 20,08 \text{ kN/m}$

8º piso $Q = 10,04 \text{ kN/m}$

Estudo de p $\acute{o$ rtio longitudinal x₃

Laje fungiforme

Largura de influência da laje no pórtico, $l_i = 5,02 \text{ m}$

$$I = \frac{49561 \times 1}{0,9} = 55067.78 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$A = \frac{816 \times 1}{0,9} = 906.67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I' = I \times l_i = 276440.26 \text{ cm}^4$$

$$A' = A \times l_i = 4551.48 \text{ cm}^2$$

$$I' = bh^3/12 \quad h = 27,00 \text{ cm}$$

$$A' = b \times h \quad \Rightarrow \quad b = 168,59 \text{ cm}$$

Quantificações dos ações permanentes

$$\text{até ao 7º piso} \quad G = 33.38 \text{ kN/m}$$

$$8^\circ \text{ piso} \quad G = 40.91 \text{ kN/m}$$

Quantificações das ações variáveis (sobrecarga)

$$\text{até ao 7º piso} \quad Q = 20.08 \text{ kN/m}$$

$$8^\circ \text{ piso} \quad Q = 10.04 \text{ kN/m}$$

Estudo do pórtico longitudinal x4

Laje fungiforme

Largura de influência da laje no pórtico, $l_i = 4,85 \text{ m}$

$$I = \frac{49561 \times 1}{0,9} = 55067.78 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$A = \frac{816 \times 1}{0,9} = 906.67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I' = I \times l_i = 267078.73 \text{ cm}^4$$

$$A' = A \times l_i = 4397.35 \text{ cm}^2$$

$$I' = bh^3/12 \quad h = 27,00 \text{ cm}$$

$$A = b \times h \quad \Rightarrow \quad b = 162.88 \text{ cm}$$

Quantificação das ações permanentes

$$p.p. \text{ laje fungiforme} = 3,65 \text{ kN/m}^2$$

$$p.p. \text{ laje aligeirada} = 3,01 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{até ao 7º piso} \quad G = 32.25 \text{ kN/m}$$

$$8º \text{ piso} \quad G = 39.53 \text{ kN/m}$$

do 9º ao 14º piso para largura de influência considero

1 m, pois a laje está armada na direção oposta

$$\text{do 9º ao 14º piso} \quad G = 16,5 \text{ kN/m}$$

Quantificação da sobrecarga

$$\text{até ao 7º piso} \quad Q = 19,4 \text{ kN/m}$$

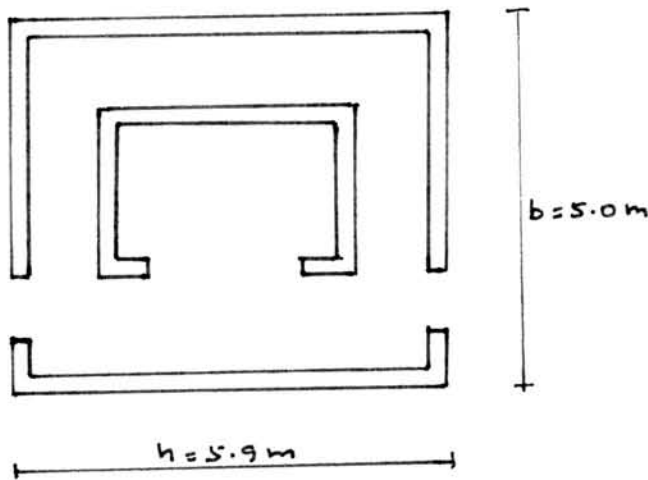
$$8º \text{ piso} \quad Q = 9,7 \text{ kN/m}$$

$$\text{do 9º ao 13º piso} \quad Q = 2,0 \text{ kN/m}$$

$$14º \text{ piso} \quad Q = 3,0 \text{ kN/m}$$

Estudo do pórtico longitudinal x_5 = pórtico
Longitudinal x_6

cálculo da seção equivalente da caixa de escadas



$$I = \frac{b h^3}{12} \Rightarrow I = \frac{5 \times 5.9^3 - 4.6 \times 5.5^3 + 1.8 \times 3.2^3 - 1.6 \times 2.8^3}{12} = 23.79 \text{ m}^4$$

$$A = b h \Rightarrow A = 5 \times 5.9 - 4.6 \times 5.5 + 1.8 \times 3.2 - 1.6 \times 2.8 = 5.48 \text{ m}^2$$

$$\begin{cases} I = b h^3 / 12 \\ A = b h \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 23.79 \times 12 = b h^3 \\ b = 5.48 / h \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h = 7.22 \text{ m} \\ b = 0.76 \text{ m} \end{cases}$$

mas vamos repartir esta inércia e área pelas
dois pórticos:

$$I' = 23.79 / 2 = 11.90 \text{ m}^4$$

$$A' = 5.48 / 2 = 2.74 \text{ m}^2$$

$$\begin{cases} I' = b h^3 / 12 \\ A' = b h \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 11.90 \times 12 = b h^3 \\ b = \frac{2.74}{h} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h = 7.22 \text{ m} \\ b = 0.38 \end{cases}$$

Laje fungiforme

largura de influência da laje no pórtico, $l_i = 5,0 \text{ m}$

$$I = \frac{49561 \times 1}{0,9} = 55067.78 \text{ cm}^4 / \text{m}$$

$$A = \frac{816 \times 1}{0,9} = 906.67 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$I' = I \times l_i = 275338.9 \text{ cm}^4$$

$$A' = A \times l_i = 4533.35 \text{ cm}^2$$

$$I' = b h^3 / 12 \quad h = 27,0 \text{ cm}$$

$$A = b h \quad \Rightarrow \quad b = 167.92 \text{ cm}$$

Quant. linear de ações permanente

$$\text{até ao 7º piso} \quad G = 33.25 \text{ kN/m}$$

$$8^\circ \text{ piso} \quad G = 40.75 \text{ kN/m}$$

Quant. linear de ações sobrecarga

$$\text{até ao 7º piso} \quad Q = 20 \text{ kN/m}$$

$$8^\circ \text{ piso} \quad Q = 10 \text{ kN/m}$$

Estudo do pórtico longitudinal X7

Laje fungiforme

largura de influência da laje no pórtico, $l_i = 5,0 \text{ m}$, até ao 4º piso

$$\Rightarrow \begin{aligned} h &= 27,0 \text{ cm} \\ b &= 167,92 \text{ cm} \end{aligned}$$

largura de influência da laje no pórtico, $l_i = 2,5 \text{ m}$, a partir do 5º piso

$$\Rightarrow \begin{aligned} h &= 27,0 \text{ cm} \\ b &= 83,96 \text{ cm} \end{aligned}$$

Quantificações das ações permanentes

até ao 4º piso $G = 33,25 \text{ kN/m}$

do 5º ao 7º piso $G = 25,63 \text{ kN/m}$

8º piso $G = 29,38 \text{ kN/m}$

do 9º ao 13º piso, $l_i = 1 \text{ m}$, visto a laje apoiar-se na direções opostas.

do 9º ao 13º piso $G = 16,5 \text{ kN/m}$

Quantificações das ações sobrecargas

até ao 4º piso $Q = 20 \text{ kN/m}$

do 5º ao 7º piso $Q = 10 \text{ kN/m}$

do 8º ao 13º piso $Q = 5 \text{ kN/m}$

Estudo do pórtico transversal 71

Laje fungiforme

Comprimento de influência da laje no pórtico, $l_i = 2,78 \text{ m}$

$$I = \frac{49561 \times 100}{90} = 55067,78 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$A = \frac{816 \times 100}{90} = 906,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I' = I \times l_i = 55067,78 \times 2,78 = 153088,4 \text{ cm}^4$$

$$A' = A \times l_i = 906,67 \times 2,78 = 2520,54 \text{ cm}^2$$

$$I' = b h^3 / 12 \quad b = 93,36 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow A' = b h \quad h = 27,0 \text{ cm}$$

Quantificação das ações permanentes

cargas distribuídas:

$$\text{p.p. laje fungiforme} = 3,65 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{p.p. laje aligeirada} = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

$$G = (\text{p.p. laje} + \text{div} + \text{revest.} + \text{p.p. pilares} + \text{vigas}) \times \text{largura de influência} + \text{p. parede exterior (quando existe)}$$

$$\text{até ao 7º piso} \quad G = 27,49 \text{ kN/m}$$

$$8º \text{ piso} \quad G = 31,66 \text{ kN/m}$$

$$\text{do 9º ao 16º piso} \quad G = 29,85 \text{ kN/m}$$

$$\text{cobertura} \quad G = 16,68 \text{ kN/m}$$

Cargas concentradas:

Temos uma carga concentrada no nó onde
concorre a consola.

comprimento da consola, $l_c = 1,9 \text{ m}$

carga exercida pela consola, $G_c = [(p.p.laje + \text{furg.} + \text{rev.}) \times l_i] \times l_c$

$$G_c = [(3,65 + 1,0) \times 2,78] \times 1,9 = 24,56 \text{ kN}$$

$$G = G_c + G_{p, \text{lar}} = 31,09 \text{ kN}$$

momento a aplicar, $\eta = G_c \times \frac{l_c}{2}$

$$\eta = 24,56 \times \frac{1,9}{2} = 23,33 \text{ kNm}$$

Quantificação da sobrecarga

sobrecargas em pavimentos

até ao 7º piso $q_i = 4,0 \text{ kN/m}^2$

8º ao 13º piso (habitação) $q_i = 2,0 \text{ kN/m}^2$

14º ao 16º piso (serviços) $q_i = 3,0 \text{ kN/m}^2$

cobertura $q_i = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Sobrecargas distribuídas, $Q = q_i \times l_i$

até ao 7º piso $Q = 11,12 \text{ kN/m}$

8º ao 13º piso $Q = 5,56 \text{ kN/m}$

14º ao 16º piso $Q = 8,34 \text{ kN/m}$

cobertura $Q = 2,78 \text{ kN/m}$

sobrecargas concentradas

sobrecarga no nó

comprimento da consola, $l_c = 1,9 \text{ m}$

sobrecargas em varandas (um metro adjacente ao parapeito $-5,0 \text{ kN/m}^2$). restante área tem sobrecarga igual à do compartimento contíguo

$$A_v = 0 \text{ m}^2$$

sobrecarga vertical exercida pela consola a aplicar:

$$Q = Q_i \times l_i \times l_c + (5 - Q_i) \times A_v$$

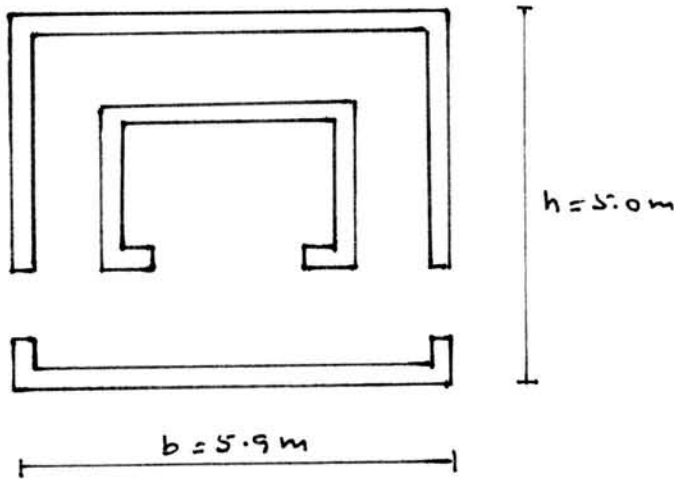
$$Q = 2 \times 2,78 \times 1,9 + 0 = 10,56 \text{ kN}$$

momento a aplicar

$$\begin{aligned} M &= Q_i \times l_i \times l_c \times l_c / 2 + (5 - Q_i) \times A_v \times (l_c - 0,5) \\ &= 2 \times 2,78 \times 1,9 \times \frac{1,9}{2} + 0 = 10,04 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Estudo da pólita transversal γ_2 = pólita
transversal γ_3

Cálculo da secção equivalente da caixa de escadas



$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{5.9 \times 5^3 - 5.5 \times 4.6^3 + 3.2 \times 1.8^3 - 2.8 \times 1.6^3}{12} = 17.45 \text{ m}^4$$

$$A = b h = 5.9 \times 5 - 5.5 \times 4.6 + 3.2 \times 1.8 - 2.8 \times 1.6 = 5.48 \text{ m}^2$$

$$\begin{cases} I = b h^3 / 12 \\ A = b h \end{cases} \begin{cases} 17.45 \times 12 = b h^3 \\ b = 5.48 / h \end{cases} \begin{cases} h = 6.18 \text{ m} \\ b = 0.89 \text{ m} \end{cases}$$

mas vamos repartir esta inércia e área pelos dois pórticos

$$I' = 17.45 / 2 = 8.725 \text{ m}^4$$

$$A' = 5.48 / 2 = 2.74 \text{ m}^2$$

$$\begin{cases} I' = b h^3 / 12 \\ A' = b h \end{cases} \begin{cases} 8.725 \times 12 = b h^3 \\ b = 2.74 / h \end{cases} \begin{cases} h = 6.18 \text{ m} \\ b = 0.44 \text{ m} \end{cases}$$

Laje fungiforme

Comprimento de influência da laje no portico, $l_i = 5,4 \text{ m}$

$$I = \frac{49561 \times 1}{0,9} = 55067.78 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$A = \frac{816 \times 1}{0,9} = 906.67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I' = I \times l_i = 297366.01 \text{ cm}^4$$

$$A' = A \times l_i = 4896.02 \text{ cm}^2$$

$$I' = b h^3 / 12 \quad h = 27,0 \text{ cm}$$

$$A' = b h \quad \Rightarrow \quad b = 181,35 \text{ cm}$$

Quantificação das ações permanentes

cargas distribuídas

até ao 7º piso $G = 35.91 \text{ kN/m}$

8º piso $G = 44.01 \text{ kN/m}$

do 9º ao 16º piso $G = 40.5 \text{ kN/m}$

Cobertura $G = 32.4 \text{ kN/m}$

cargas concentradas

temos uma carga concentrada no nó onde concorre uma consola.

comprimento de consola, $l_c = 1,9 \text{ m}$

carga exercida pela console, $G_c = [(p.p. \text{laje fung.} + nev.) \times l_i] \times l_c$

$$G_c = [(3,65 + 1) \times 5,4] \times 1,9 = 47,71 \text{ kN}$$

$$G = G_c + G_{\text{pilar}} = 54,23 \text{ kN}$$

momento a aplicar, $\eta = G_c \times l_c / 2$

$$\eta = 47,71 \times \frac{1,9}{2} = 45,32 \text{ kNm}$$

consolas dos pisos 9º ao 13º

$$l_c = 1,20 \text{ m}$$

$$G_c = [(3 + 1,0) \times 5,4 + 3,75] \times 1,20 = 30,42 \text{ kN}$$

$$G = G_c + G_{\text{pilar}} = 36,95 \text{ kN}$$

momento a aplicar, $\eta = G_c \times \frac{l_c}{2} = 18,25 \text{ kNm}$

consolas dos pisos 15º ao 16º

$$l_c = 0,5$$

$$\begin{aligned} G_c &= [(p.p. \text{laje aligeirada} + nev.) \times l_i + G_{\text{viga}}] \times l_c \\ &= [(3 + 1) \times 5,4 + 2,5] \times 1,2 = 28,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$G = G_c + G_{\text{pilares}} = 35,45 \text{ kN}$$

$$\text{momento, } \eta = 28,92 \times \frac{1,2}{2} = 17,35 \text{ kNm}$$

Quantificação de ações sobrecarga

$$Q = q_i \times l_i, \text{ sobrecargas distribuídas}$$

Sobrecargas distribuídas

até ao 7º piso

$$Q = 21.6 \text{ kN/m}$$

do 8º ao 13º piso

$$Q = 10.8 \text{ kN/m}$$

do 14º ao 16º piso

$$Q = 16.2 \text{ kN/m}$$

cobertura

$$Q = 5.4 \text{ kN/m}$$

Sobrecargas concentradas

sobrecarga no nó do piso 8

$$l_c = 1.9 \text{ m}$$

$$Q = 20.52 \text{ kN}$$

$$M = 19.49 \text{ kNm}$$

piso 9º ao 13º

$$l_c = 1.2 \text{ m}$$

$$Q = 12.92 \text{ kN}$$

$$M = 7.78 \text{ kNm}$$

pisos 15º e 16º

$$l_c = 0.5$$

$$Q = 8.1 \text{ kN}$$

$$M = 2.03 \text{ kN}$$

Estudo da pólina transversal 74

Laje fungiforme

largura de influência da laje no pórtico, $l_i = 2,78 \text{ m}$

$$I = \frac{49561 \times 1}{0,9} = 55067,78 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$A = \frac{816 \times 1}{0,9} = 906,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I' = I \times l_i = 55067,78 \times 2,78 = 153088,4 \text{ cm}^4$$

$$A' = A \times l_i = 906,67 \times 2,78 = 2520,53 \text{ cm}^2$$

$$I' = b h^3 / 12 \quad h = 27,0 \text{ cm}$$

$$A' = b h \quad \Rightarrow \quad b = 93,36 \text{ cm}$$

Quantificação das ações permanentes

cargas distribuídas

até ao 7º piso

$$G = 27,49 \text{ kN/m}$$

8º piso

$$G = 31,66 \text{ kN/m}$$

do 9º ao 16º piso

$$G = 29,85 \text{ kN/m}$$

cobertura

$$G = 16,68 \text{ kN/m}$$

cargas concentradas

carga concentrada no nó do 8º piso

comprimento da consola, $l_c = 1,9 \text{ m}$

carga exercida pela consola, $G_c = [(p.p. \text{ laje fung.} + \text{rev.}) \times l_i] \times l_c$

$$G_c = [(3,05 + 1,0) \times 2,78] \times 1,9 = 24,56 \text{ kN}$$

$$G = G_c + G_{\text{pilar}} = 31,09 \text{ kN}$$

momento a aplicar, $M = G_c \times \frac{l_c}{2}$

$$M = 24,56 \times 1,9 / 2 = 23,33 \text{ kNm}$$

carga concentrada nos vãos nos

comprimentos da consola, $l_c = 0,5$

$$G_c = [(p.p. laje + mv.) \times l_i + G_{vigas}] \times l_c$$

carga exercida pela consola, $G_c = 7,44 \text{ kN}$

$$G = G_c + G_{pilar} = 13,96 \text{ kN}$$

momento a aplicar, $M = G_c \times l_c / 2$

$$M = 7,44 \times 0,5 / 2 = 1,86 \text{ kNm}$$

Quantificação da sobrecarga

sobrecargas em pavimentos

até ao 7º piso $q_i = 4,0 \text{ kN/m}^2$

do 8º ao 13º piso $q_i = 2,0 \text{ kN/m}^2$

do 14º ao 16º piso $q_i = 3,0 \text{ kN/m}^2$

cobertura $q_r = 1,0 \text{ kN/m}^2$

sobrecargas distribuídas

$$Q = q_i \times l_i$$

até ao 7º piso $Q = 11,12 \text{ kN/m}$

do 8º ao 13º piso $Q = 5,56 \text{ kN/m}$

do 14º ao 16º piso $Q = 8,34 \text{ kN/m}$

cobertura $Q = 2,78 \text{ kN/m}$

sobrecargas concentradas

sobrecarga no nó do piso 8

comprimento da consola, $l_c = 1,9 \text{ m}$

$$Q = Q_i \times l_i \times l_c + (5 - Q_i) \times A_v$$

$$Q = 2 \times 2,78 \times 1,9 + 0 = 10,56 \text{ kN}$$

momento = aplicar

$$M = Q_i \times l_i \times l_c \times \frac{l_c}{2} + (5 - Q_i) \times A_v \times (l_c - 0,5)$$

$$= 2 \times 2,78 \times 1,9 \times \frac{1,9}{2} + 0 = 10,04 \text{ kNm}$$

sobrecarga nos restantes nós

comprimento da consola, $l_c = 0,5 \text{ m}$

$$Q = Q_i \times l_i \times l_c + (5 - Q_i) \times A_v$$

$$Q = 3 \times 2,78 \times 0,5 + 0 = 4,17 \text{ kN}$$

momento = aplicar

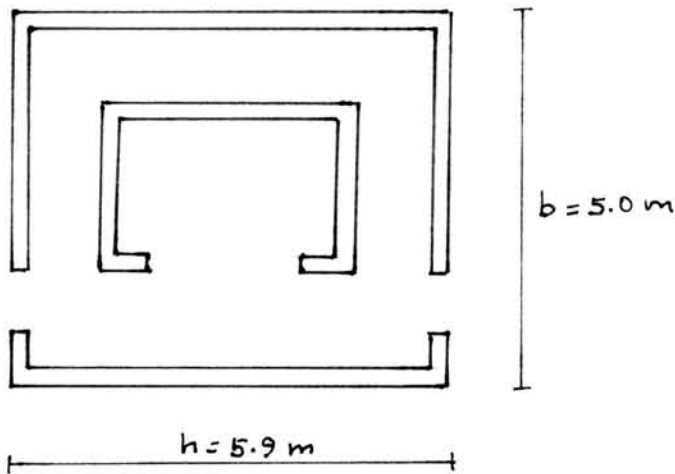
$$M = 1,04 \text{ kNm}$$

Cálculo da acção sísmica
Segundo a direcção X



COMX

Cálculo da secção equivalente da caixa de escadas



$$I = \frac{b \times h^3}{12} \Rightarrow I = \frac{5 \times 5.9^3 - 4.6 \times 5.5^3 + 1.8 \times 3.2^3 - 1.6 \times 2.8^3}{12} = 23.79 \text{ m}^4$$

$$A = b \times h \Rightarrow A = 5 \times 5.9 - 4.6 \times 5.5 + 1.8 \times 3.2 - 1.6 \times 2.8 = 5.48 \text{ m}^2$$

$$\begin{cases} I = \frac{b h^3}{12} \\ A = b \times h \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 23.79 \times 12 = b h^3 \\ b = \frac{5.48}{h} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h = 7.22 \text{ m} \\ b = 0.76 \text{ m} \end{cases}$$

Cálculo das forças mássicas ao nível de cada laje:

$$G_i = A_i \times (\text{p.p. laje} + \text{p.p. vigas} + \text{pilares} + \text{revest.} + \psi_2 q_i + \text{div}) + G_{\text{caixa de escadas}}$$

Considero:

$$\text{P.p. vigas} + \text{pilares} \simeq 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{revest.} = 1.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{div.} = 1.5 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{\text{caixa de escadas}} = 0,76 \times 7,22 \times 25 \times h = 137.18 \text{ h}$$

$$\psi_2 \text{ habitação} = 0,2$$

$$\psi_2 \text{ escritórios} = 0,4$$

$$\psi_2 \text{ comercial} = 0,4$$

$$\psi_2 \text{ garagens} = 0,6$$

$$\psi_2 \text{ cobertura} = 0$$



$$G_{17} = 17 \times 10,4 \times \left(3,0 + 2 + 1,0 + 0 \times 1,0 + \frac{1,5}{2} \right) + 137,18 \times \frac{2,9}{2} = 1392.31 \text{ kN}$$

$$G_{16} = 17 \times 10,4 \times (3,0 + 2 + 1,0 + 0,4 \times 3 + 1,5) + 137.18 \times 2,9 = 1935.98 \text{ kN}$$

$$G_{15} = 1935.98 \text{ kN}$$

$$G_{14} = 2616.32 \text{ kN}$$

$$G_{13} = 2412.32 \text{ kN}$$

$$G_{12} = 2412.32 \text{ kN}$$

$$G_{11} = 2412.32 \text{ kN}$$

$$G_{10} = 2412.32 \text{ kN}$$

$$G_9 = 2412.32 \text{ kN}$$

$$G_8 = 4758.32 \text{ kN}$$

$$G_7 = 4653.34 \text{ kN}$$

$$G_6 = 4653.34 \text{ kN}$$

Vou associar os pórticos em comboio, para o cálculo dos deslocamentos. Como os pórticos $x_1 \cong x_2 \cong x_3$, $x_4 \cong x_7$ e $x_5 \cong x_6$, triplico a base dos elementos do pórtico x_3 , duplico a base dos elementos do pórtico x_7 e, igualmente, duplico a secção do pórtico x_6 .

Para haver uma melhor distribuição da força mássica pelos pisos, afetei 5% do respectivo em cada pórtico e o restante no pórtico da caixa de escadas.

Do cálculo automático retirei os deslocamentos,

e para uma melhor precisão, vou fazer a média:

$$d_{17} = \frac{2 \times d_{114}}{2} = 0,50707 \text{ m}$$

$$d_{16} = \frac{2 \times d_{113}}{2} = 0,463398 \text{ m}$$

$$d_{15} = \frac{2 \times d_{112}}{2} = 0,419687 \text{ m}$$

$$d_{14} = \frac{2 \times d_{111}}{2} = 0,376054 \text{ m}$$

$$d_{13} = \frac{2 \times d_{108} + 2 \times d_{110}}{4} = 0,3305415 \text{ m}$$

$$d_{12} = \frac{2 \times d_{102} + 2 \times d_{104}}{4} = 0,289959 \text{ m}$$

$$d_{11} = \frac{2 \times d_{96} + 2 \times d_{98}}{4} = 0,248225 \text{ m}$$

$$d_{10} = \frac{2 \times d_{90} + 2 \times d_{86}}{4} = 0,207513 \text{ m}$$

$$d_9 = \frac{2 \times d_{84} + 2 \times d_{86}}{4} = 0,168722 \text{ m}$$

$$d_8 = \frac{2 \times d_{73} + 2 \times d_{77} + 2 \times d_{89}}{7} = 0,13044 \text{ m}$$

$$d_7 = \frac{3 \times d_{62} + 2 \times d_{66} + 2 \times d_{69}}{7} = 0,094173 \text{ m}$$

$$d_6 = \frac{3 \times d_{51} + 2 \times d_{55} + 2 \times d_{58}}{7} = 0,057389 \text{ m}$$

Seguidamente, calculo-se a frequência fundamental da estrutura

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \sum G_i d_i}{\sum G_i d_i^2}}$$

$$\sum G_i d_i = 7891.807 \text{ kNm}$$

$$\sum G_i d_i^2 = 2488.556 \text{ kNm}^2$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9,81 \times 7891.807}{2488.556}} \Rightarrow f = 0,888 \text{ Hz}$$

considero terreno tipo II

$$f = 0,888 \text{ Hz}$$

$$\eta = 5\% \Rightarrow \begin{aligned} S_a^I &= 121 \text{ cm/s}^2 \\ S_a^{II} &= 223 \text{ cm/s}^2 \end{aligned} \Rightarrow S_{a \text{ máx}} = 223 \text{ cm/s}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

cálculo das forças sísmicas:

$$F_{si} = \frac{w^2 \times S_a}{g^2} \times G_i d_i \times \frac{1}{\eta} \quad \eta = 2,5$$

$$F_{si} = \frac{31.1099 \times 2,23 \times 0,5}{9,81^2} \times G_i d_i \times \frac{1}{2,5}$$

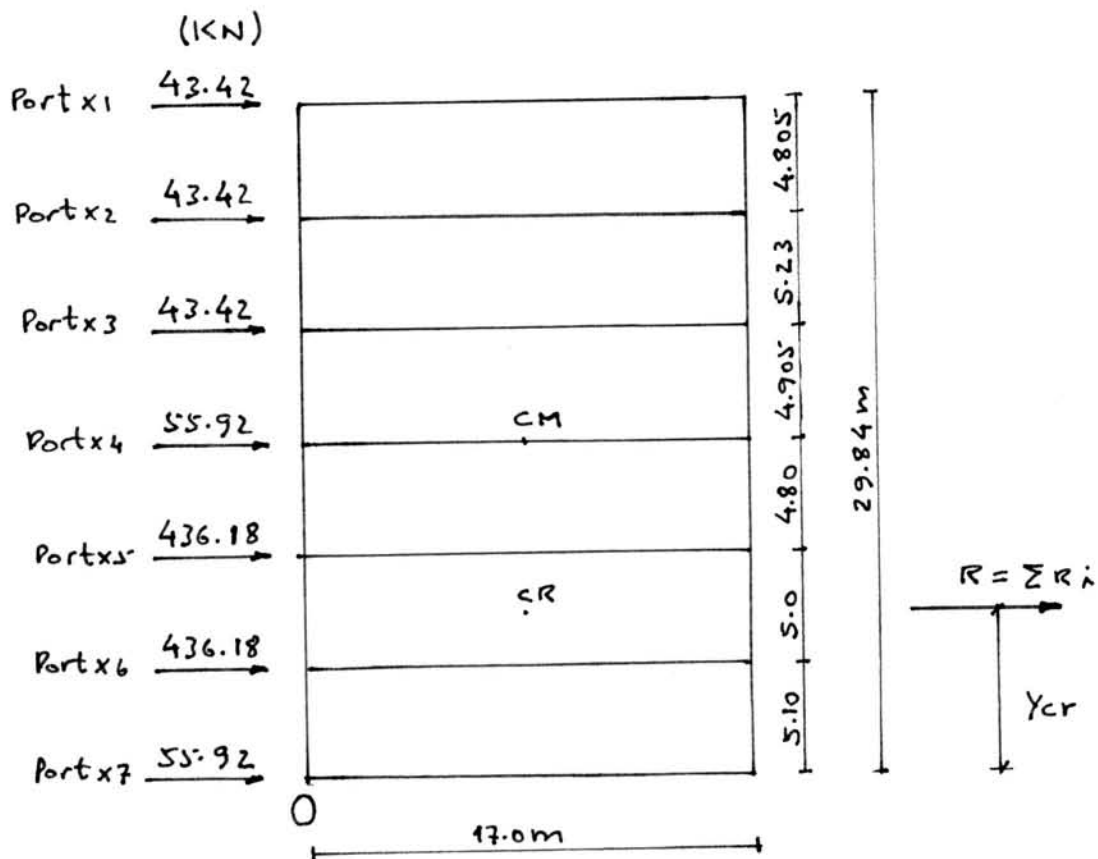
$$F_{si} = 0,14418 G_i d_i$$

Pisos	G_i	d_i	$F_{si} \text{ (kN)}$
17	1392.31	0,50707	101.789
16	1935.98	0,463398	129.345
15	"	0,419687	117.144
14	2616.32	0,376054	141.852
13	2412.32	0,3305415	114.962
12	"	0,289939	100.848
11	"	0,2482225	86.332
10	"	0,207513	72.173
9	"	0,168722	58.682
8	4758.32	0,13044	89.487
7	4653.34	0,094173	63.181
6	"	0,057389	38.502

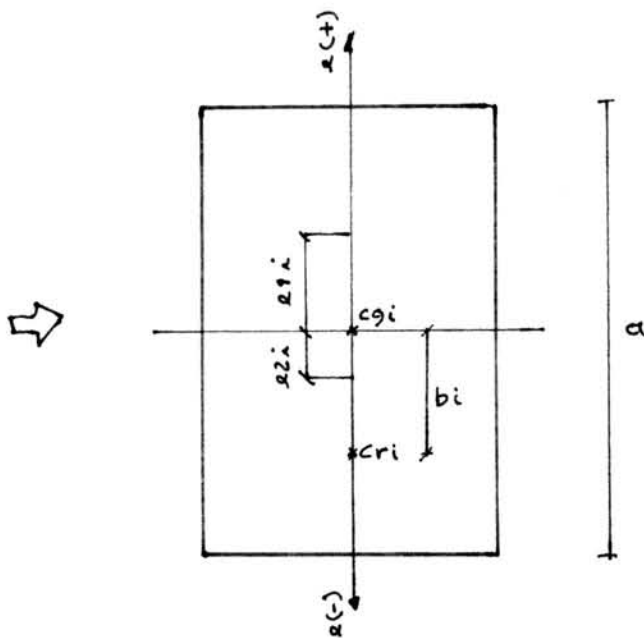
Vamos, agora, fazer a repartição das forças sísmicas como fizemos para as forças mássicas, isto é, 5% para cada pórtico e o restante para o pórtico da caixa de elevadores. Vou, através do cálculo automático, calcular o corte basal.

Do cálculo automático surgiram os esforços transversos correspondentes ao corte basal.

Excentricidade referente aos pórticos posicionados segundo a direcção X



$$\begin{aligned}\Sigma m_0 &= R_1 y_1 + R_2 y_2 + R_3 y_3 + R_4 y_4 + R_5 y_5 + R_6 y_6 + R_7 y_7 = R y_{cr} \\ 43.42 \times 29.84 &+ 43.42 \times 25.035 + 43.42 \times 19.805 + 55.92 \times 14.9 + \\ 436.18 \times 10.1 &+ 436.18 \times 5.1 + 55.92 \times 0 = 1114.46 y_{cr} \\ \Rightarrow y_{cr} &= 9.606 \text{ m}\end{aligned}$$



$$a = 29,84 \text{ m}$$

$$b_i = \frac{a}{2} - y_{cr} \Rightarrow b_i = \frac{29,84}{2} - 9,606 \Rightarrow b_i = 5,314 \text{ m}$$

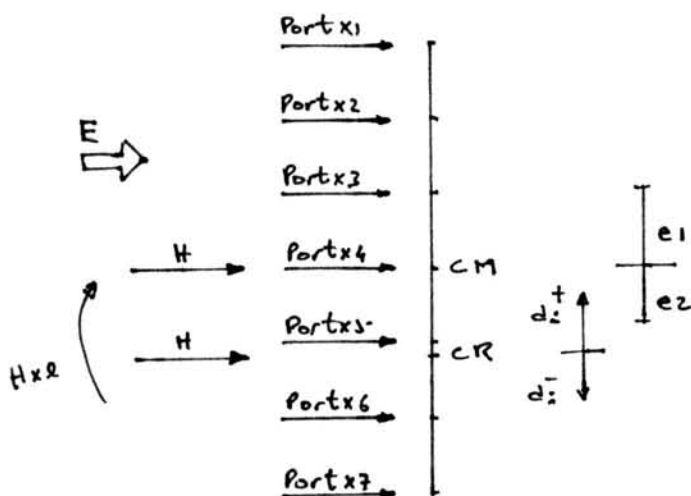
$$e1i = 0,5 b_i + 0,05 a \Rightarrow e1i = 4,149 \text{ m}$$

$$e2i = 0,05 a \Rightarrow e2i = 1,492 \text{ m}$$

$$b_i + e1i = 9,463 \text{ m}$$

considerar para cada pórtico o mais desfavorável.

$$b_i - e2i = 3,822 \text{ m}$$



Portico	d_i (m)	I_i (kN)
Portx ₁	20.234	43.42
Portx ₂	15.429	43.42
Portx ₃	10.199	43.42
Portx ₄	5.294	55.92
Portx ₅	0.494	436.18
Portx ₆	-4.506	436.18
Portx ₇	-9.606	55.92

I_i — corte basal

$$\sum I_i = 1114.46 \text{ kN}$$

$$\sum I_i d_i^2 = 48319.55379 \text{ kN}$$

Vou desprezar a contribuições dos pórticos na direcção transversal

da translação $F_i = \frac{H \times I_i}{\sum I_i}$

da rotação $F'_i = \frac{H \times e}{\sum (I_i \times d_i^2)} I_i d_i$

Como $F_i^T = F_i + F'_i$, vem:

$$F_i^{\text{total}} = \frac{H_j I_i}{\sum I_i} \times \left(1 + \frac{e \times d_i \times \sum I_i}{\sum I_i d_i^2} \right)$$

H - força sísmica por piso

I - corte basal

i - pórtico

j - piso

d_i - distância ao centro de rigidez

e - excentricidade, considero a mais desfavorável

forças sísmicas por piso :

$$H_6 = 38.502$$

$$H_{10} = 72.173$$

$$H_{14} = 141.852$$

$$H_7 = 63.181$$

$$H_{11} = 86.332$$

$$H_{15} = 117.144$$

$$H_8 = 89.487$$

$$H_{12} = 100.848$$

$$H_{16} = 129.341$$

$$H_9 = 58.682$$

$$H_{13} = 114.185$$

$$H_{17} = 101.789$$

Resultado do cálculo das forças sísmicas que actuam nos pórticos do 6º e 7º pisos :

Portico Piso i j	Portx1	Portx2	Portx3	Portx4	Portx5	Portx6	Portx7
6º	8.12	6.55	4.84	4.16	16.69	9.08	0.30
7º	13.33	10.75	7.94	6.83	27.39	14.91	0.49

Porque a estrutura não mantém a geometria em planta, recorro ao ficheiro de dados e retiro os valores do esforço transversal das barras entre o 7º e 8º pisos e entre o 8º e 9º piso.

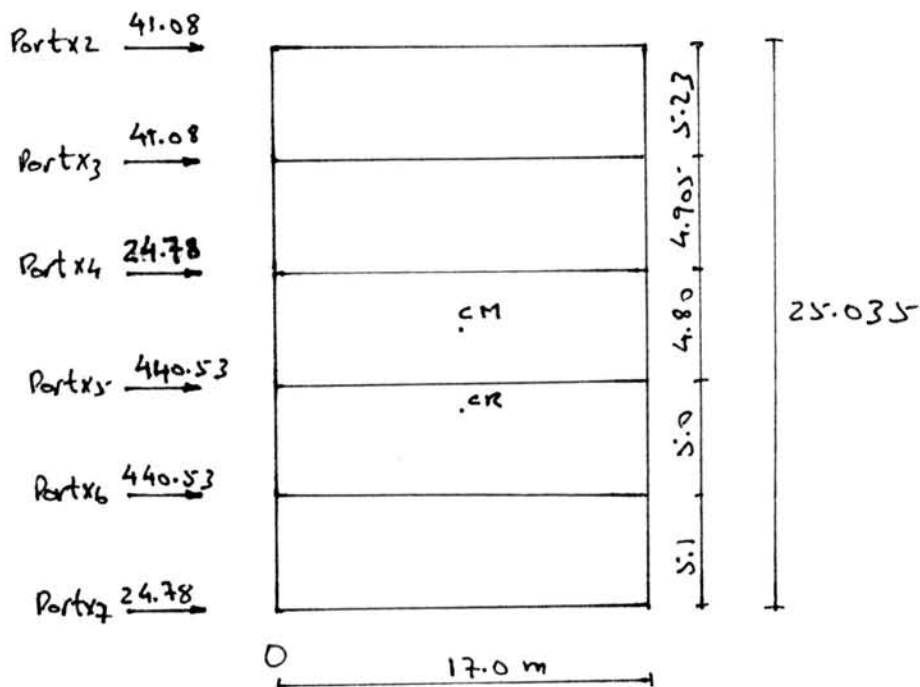
Entre o 7º e 8º piso:

$$\sum f_{si} = 1012.614 \approx \sum \text{esf. trans.} = 1012.74 \quad \text{OK!}$$

Entre o 8º e 9º piso:

$$\sum f_{si} = 923.127 \approx \sum \text{esf. trans.} = 923.32 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

8º piso, excentricidade referente aos pórticos posicionados segundo a direção X.



$$y_{cr} = 8.795 \text{ m}$$

$$b_i = 3.7225 \text{ m}$$

$$e_{1i} = 3.113 \text{ m}$$

$$e_{2i} = 1.25175 \text{ m}$$

$$b_i + e_{1i} = 6.836 \text{ m}$$

$$b_i - e_{2i} = 2.47075 \text{ m}$$

Pórtico	$d_i \text{ (m)}$	$I_i \text{ (kN)}$
Portx2	16.24	41.08
Portx3	11.01	41.08
Portx4	6.101	24.78
Portx5	1.305	440.53
Portx6	-3.695	440.53
Portx7	-8.795	24.78

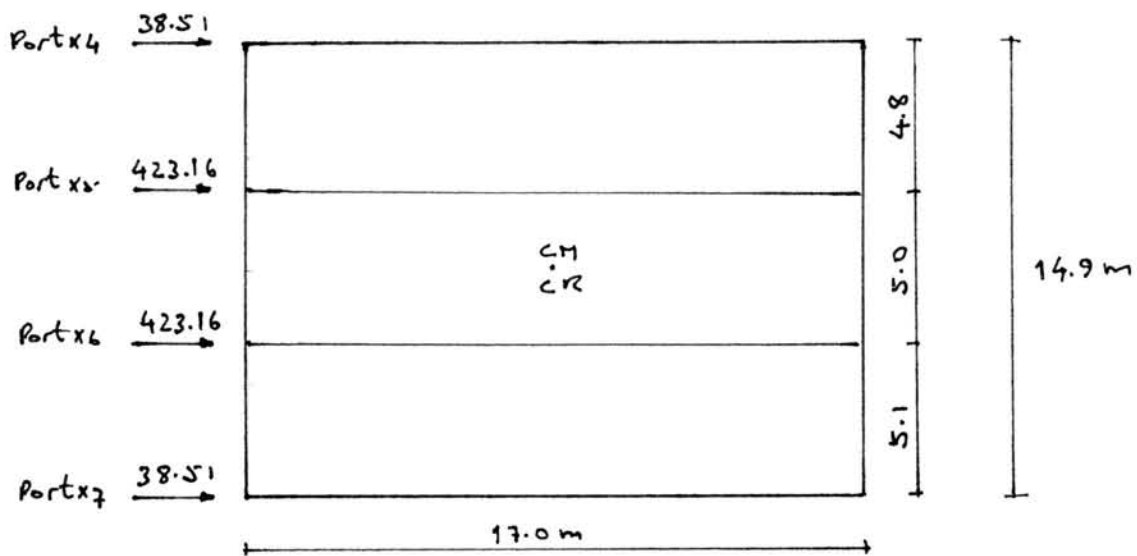
$$\sum I_i = 1012.74 \text{ kN}$$

$$\sum I_i d_i^2 = 25418.01234 \text{ kN m}^2$$

Pórtico Piso j	i	Portx2	Portx3	Portx4	Portx5	Portx6	Portx7
----------------------	---	--------	--------	--------	--------	--------	--------

g° 19.69 14.52 5.83 52.76 24.77 0,29

Piso 9º e seguintes



A estrutura a partir do 9º piso, inclusive, pode considerar-se simétrica na direção x

$$a = 14.9 \text{ m}$$

$$b_i = 0 \text{ m}$$

$$e_{1i} = 0.745'$$

$$e_{2i} = 0.745'$$

$$b_i + e_{1i} = 0.745'$$

$$b_i - e_{2i} = -0.745'$$

Pórtico	d_i (m)	I_i (lw)
Portx4	7.5'	38.51
Portx5	2.5'	423.16
Portx6	-2.5'	423.16
Portx7	-7.5'	38.51

Pórtico Piso i j	Portx4	Portx5	Portx6	Portx7
---------------------------	--------	--------	--------	--------

9 = 3.76 31.70 31.70 3.76

10 = 4.62 39.00 39.00 4.62

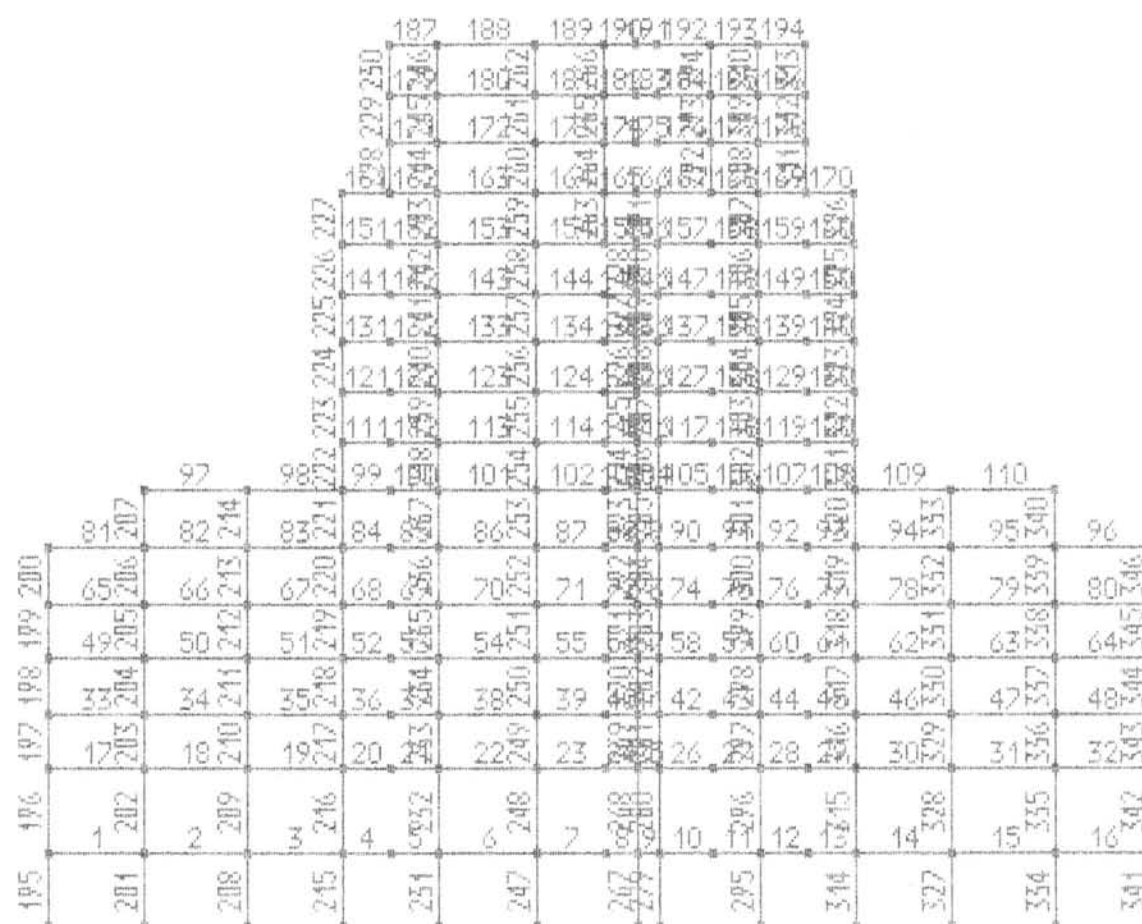
11 = 5.53 46.64 46.64 5.53

12 = 6.46 54.48 54.48 6.46

13 = 7.37 62.10 62.10 7.37

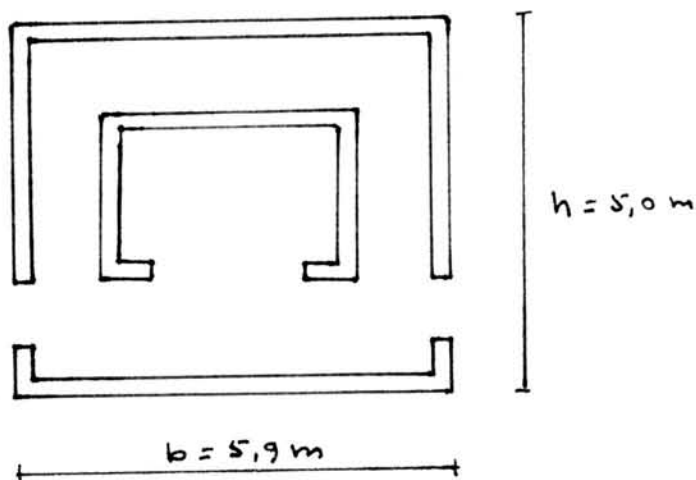
14 = 9.07 76.63 76.63 X

cálculo de acción sísmica
segundo a direccão y



COMY

cálculo da seção equivalente da caixa
de escadas



$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{5,9 \times 5^3 - 5,5 \times 4,6^3 + 3,2 \times 1,8^3 - 2,8 \times 1,6^3}{12} = 17,45 \text{ m}^4$$

$$A = b h = 5,9 \times 5 - 5,5 \times 4,6 + 3,2 \times 1,8 - 2,8 \times 1,6 = 5,48 \text{ m}^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I = \frac{b h^3}{12} \\ A = b h \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} 17,45 \times 12 = b h^3 \\ b = \frac{5,48}{h} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} h = 6,18 \text{ m} \\ b = 0,89 \text{ m} \end{array} \right.$$

Cálculo das forças mássicas ao nível de cada laje:

$$G_i = A_i \times (\text{p.p. laje} + \text{p.p. vigas} + \text{pilares} + \text{revest} + \psi_2 q_i + \text{div}) + G_{\text{caixa de escadas}}$$

Sabendo que:

$$G_{\text{caixa de escadas}} = 0,89 \times 6,18 \times 25 \times h = 137,51 h$$

$$\psi_2 \text{ habitação} = 0,2$$

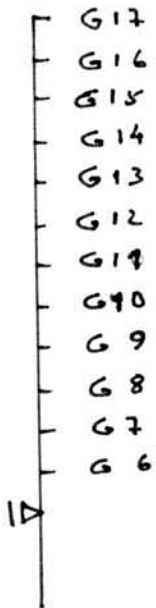
$$\psi_2 \text{ escritórios, zona comercial} = 0,4$$

$$\psi_2 \text{ cobertura} = 0$$

$$\text{divisórias} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{revestimentos} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{p.p. Vigas + pilares} = 2,0 \text{ kN/m}^2$$



$$G_{17} = 17 \times 10,4 \times (3,0 + 2 + 1,0 + 0 \times 1,0 + 1,5/2) + 137,51 \times 2,9/2 = 1392,79 \text{ kN}$$

$$G_{16} = 17 \times 10,4 \times (3,0 + 2 + 1,0 + 0,4 \times 3 + 1,5) + 137,51 \times 2,9 = 1936,94 \text{ kN}$$

$$G_{15} = 1936,94 \text{ kN}$$

$$G_{14} = 2917,28 \text{ kN}$$

$$G_{13} = 2413,28 \text{ kN}$$

$$G_{12} = 2413,28 \text{ kN}$$

$$G_{11} = 2413,28 \text{ kN}$$

$$G_{10} = 2413,28 \text{ kN}$$

$$G_9 = 2413,28 \text{ kN}$$

$$G_8 = 4759,28 \text{ kN}$$

$$G_7 = 4654,41 \text{ kN}$$

$$G_6 = 4654,41 \text{ kN}$$

Vamos associar as porticas em combis. Como o 1º pórtico é praticamente igual ao 4º e o 2º

ao 3º, vou associá-los duplicando a inércia, isto é, duplicando as respectivas bases das seções referentes aos pontos 2º e 4º.

Depois de ter introduzido no cálculo automático as forças móveis, obtive os deslocamentos:

$$d_{17} = \frac{2 \times d_{218} + 2 \times d_{223}}{4} = 0,603953 \text{ m}$$

$$d_{16} = \frac{2 \times d_{209} + 2 \times d_{214}}{4} = 0,558628 \text{ m}$$

$$d_{15} = \frac{2 \times d_{200} + 2 \times d_{205}}{4} = 0,511329 \text{ m}$$

$$d_{14} = \frac{2 \times d_{190} + 2 \times d_{196}}{4} = 0,4639475 \text{ m}$$

$$d_{13} = \frac{2 \times d_{180} + 2 \times d_{185}}{4} = 0,416931 \text{ m}$$

$$d_{12} = \frac{2 \times d_{169} + 2 \times d_{174}}{4} = 0,3688425 \text{ m}$$

$$d_{11} = \frac{2 \times d_{158} + 2 \times d_{163}}{4} = 0,3224125 \text{ m}$$

$$d_{10} = \frac{2 \times d_{147} + 2 \times d_{152}}{4} = 0,299472 \text{ m}$$

$$d_9 = \frac{2 \times d_{136} + 2 \times d_{141}}{4} = 0,231091 \text{ m}$$

$$d_8 = \frac{2 \times d_{123} + 2 \times d_{130}}{4} = 0,186893 \text{ m}$$

$$d_7 = \frac{2 \times d_{107} + 2 \times d_{112}}{4} = 0,140969 \text{ m}$$

$$d_6 = \frac{2 \times d_{90} + 2 \times d_{98}}{4} = 0,0984275 \text{ m}$$

Cálculo da frequência fundamental da estrutura

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2 \sum G_i d_i}{\sum G_i d_i^2}}$$

$$\sum G_i d_i = 10086,38849 \text{ kNm}$$

$$\sum G_i d_i^2 = 3830,082586 \text{ kNm}^2$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9,81 \times 10086,38849}{3830,082586}}$$

$$f = 0,809 \text{ Hz}$$

considerando terreno tipo II

$$f = 0,809 \text{ Hz}$$

$$\gamma = 5\% \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} S_a^I &= 107 \text{ cm/s}^2 \\ S_a^{II} &= 207 \text{ cm/s}^2 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad S_a^{mca} = 207 \text{ cm/s}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

cálculo das forças sísmicas

$$F_{si} = \frac{\omega^2 \times S_a}{g^2} \times G_i \times d_i \times \frac{1}{\eta}$$

$$F_{si} = \frac{25,8379 \times 2,07 \times 0,5}{9,81^2} \times G_i \times d_i \times \frac{1}{2,5}$$

$$F_{si} = 0,111153 \times G_i \times d_i$$

Pisos	G_i	d_i	$F_{si} \text{ (kN)}$
17	1392,79	0,603953	93,50
16	1936,94	0,558628	120,27
15	1936,94	0,511329	110,09
14	2617,28	0,4639475	134,97
13	2413,28	0,416931	111,84
12	2413,28	0,3688425	98,94
11	2413,28	0,3224125	86,48
10	2413,28	0,299472	80,33
9	2413,28	0,231091	61,99
8	4759,28	0,186893	98,87
7	4654,41	0,140969	72,93
6	4654,41	0,0984275	50,92

$$\Sigma F_{si} = 1121,13 \text{ kN}$$

Recorro novamente ao cálculo automático para calcular a força sísmica por pórtico.

Cálculo das forças sísmicas que actuam nos pórticos do 6º e 7º piso:

Pórtico i Piso j	Port y1	Port y2	Port y3	Port y4
6º	7.19	22.30	22.30	7.19
7º	10.30	31.94	31.94	10.30

Forças sísmicas que actuam nos pórticos do piso 8º

8º	7.66	51.56	51.56	7.66
----	------	-------	-------	------

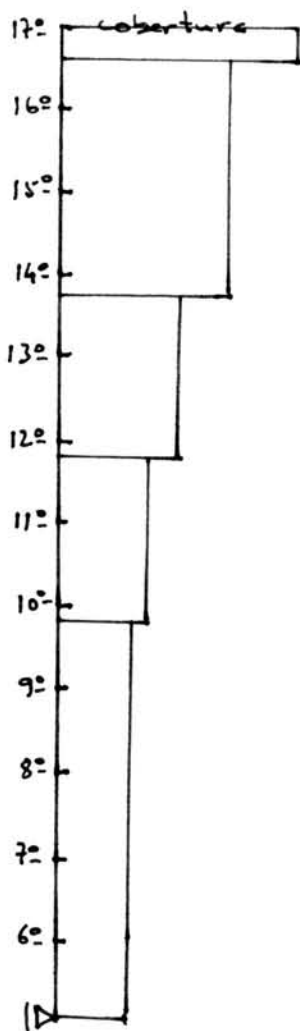
Forças sísmicas que actuam nos pórticos dos pisos 9º ao 14º

9º	5.85	30.87	30.87	5.85
10º	7.58	40.01	40.01	7.58
11º	8.16	43.07	43.07	8.16
12º	9.34	49.27	49.27	9.34
13º	10.55	55.70	55.70	10.55
14º	12.74	67.22	67.22	12.74

Forças sísmicas que atuam nos pórticos dos
pisos 15º ao 17º

15º	18.13	45.12	45.12	18.13
16º	19.81	49.30	49.30	19.81
17º	15.40	38.32	38.32	15.40

Cálculo de ações do vento
segundo a direcção x



$$W_{1K} = 0,96 \times 1,2 = 1,152 \text{ kW/m}^2$$

$$W_{1K} = 0,91 \times 1,2 = 1,092 \text{ kW/m}^2$$

$$W_{1K} = 0,85 \times 1,2 = 1,02 \text{ kW/m}^2$$

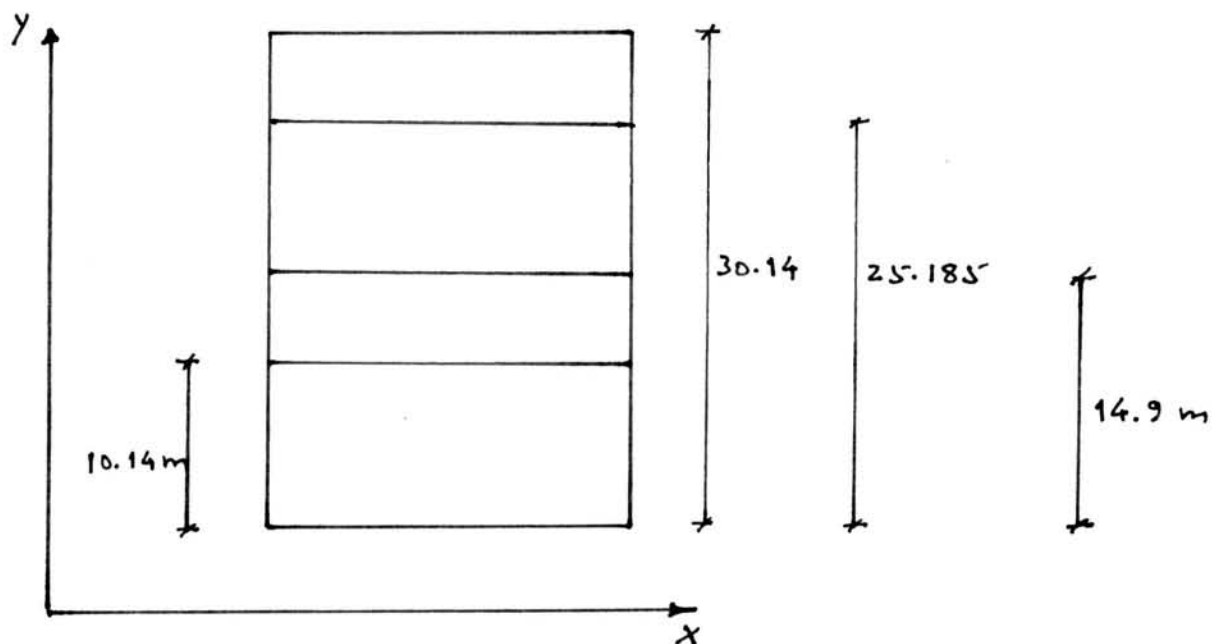
$$W_{1K} = 0,79 \times 1,2 = 0,948 \text{ kW/m}^2$$

$$W_{1K} = 0,7 \times 1,2 = 0,84 \text{ kW/m}^2$$

considerando:

Zona B

rugosidade tipo I



6º piso

$$h = 35.85 \text{ m}$$

$$a = 30.14 \text{ m}$$

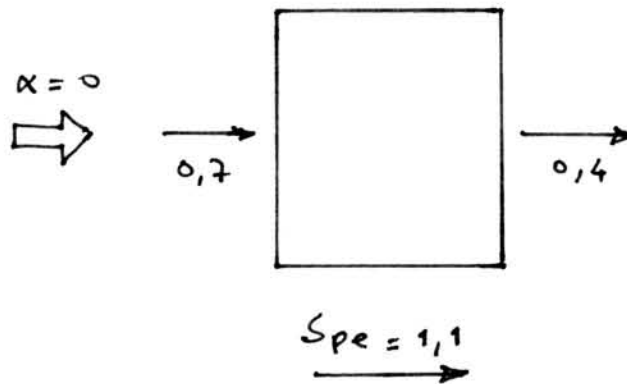
$$b = 17.0 \text{ m}$$

$$h/b = 2.11 \text{ m}$$

$$a/b = 1.78 \text{ m}$$

$$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$$

$$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$$



7º piso

$$h = 35.85$$

$$a = 25.185 \text{ m}$$

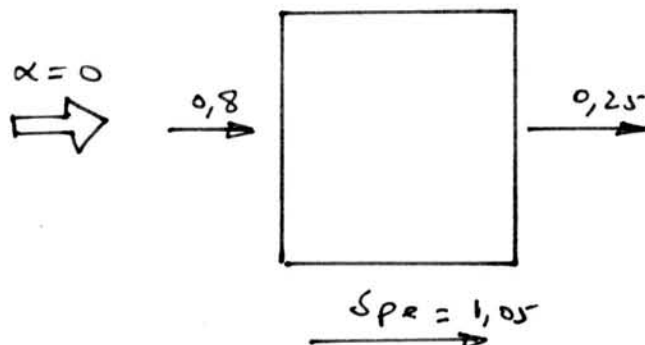
$$b = 17.0 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = 2,11$$

$$\frac{a}{b} = 1,48$$

$$\frac{2}{3} < \frac{h}{b} \leq 6$$

$$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$



do 8º piso ao 13º piso

$$h = 35,85$$

$$a = 17,0 \text{ m}$$

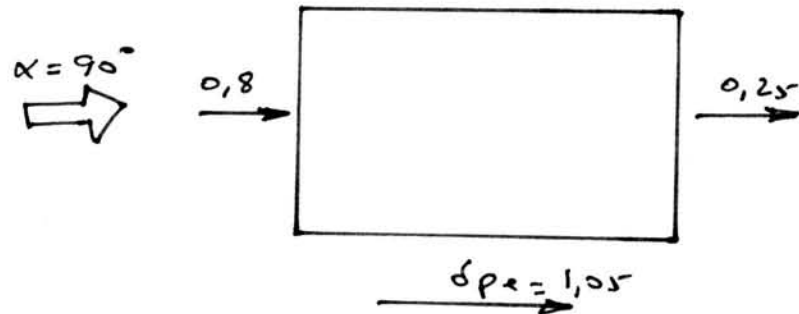
$$b = 14,9 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = 2,41 \text{ m}$$

$$\frac{a}{b} = 1,14$$

$$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$$

$$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$



do piso 14º ao 16º

$$h = 35,85 \text{ m}$$

$$a = 17,0 \text{ m}$$

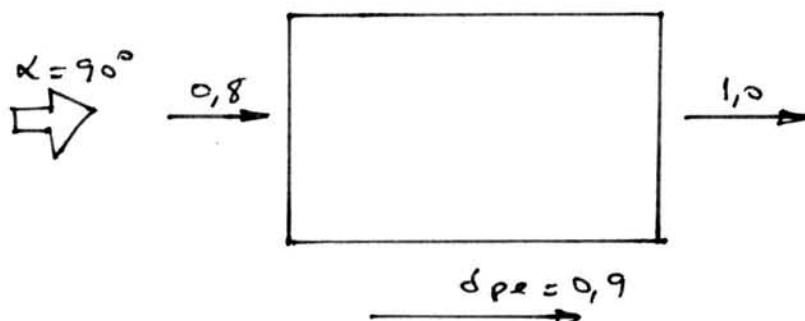
$$b = 10,4 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = 3,45 \text{ m}$$

$$\frac{a}{b} = 1,64$$

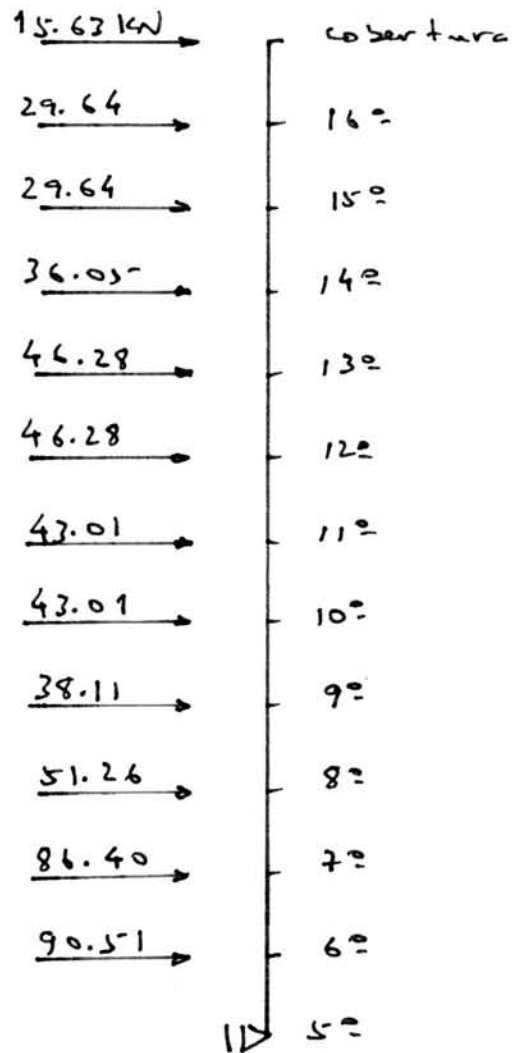
$$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$$

$$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$$



considerando $\delta p_i = 0$

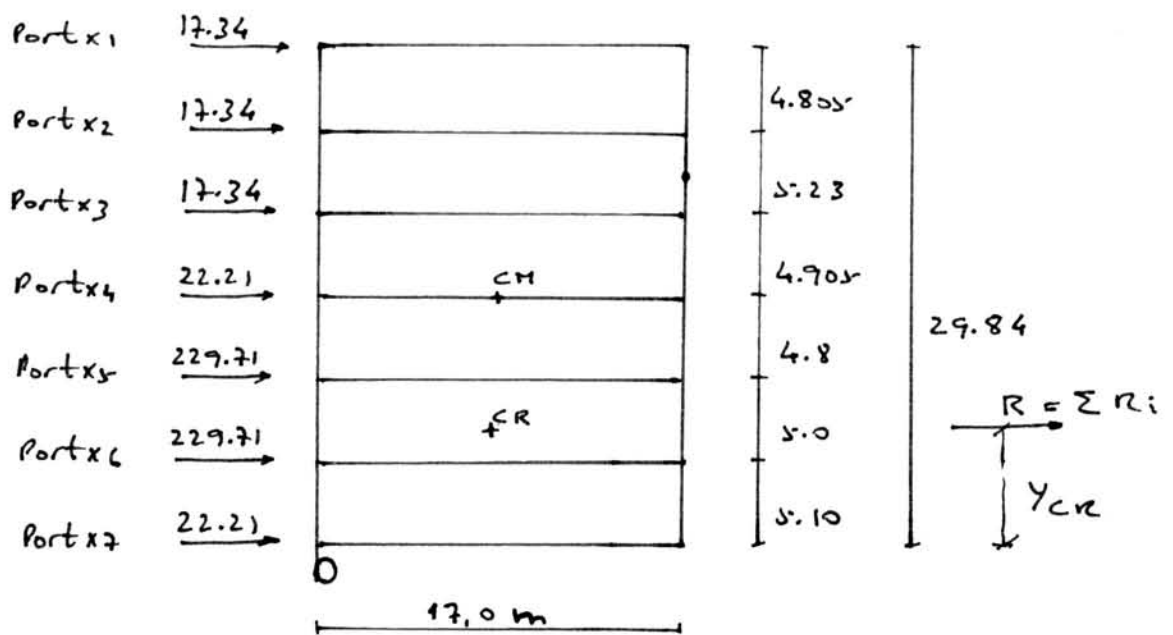
$$F = W_k \times \delta p \times \text{Área}$$



Vou usar novamente a estrutura em comboio e introduzo as forças calculadas, para saber a distribuição das forças pelas pórticas.

Para os pisos 6° e 7°, vem:

Cálculo da excentricidade referente aos pórticos posicionados segundo a direção x.

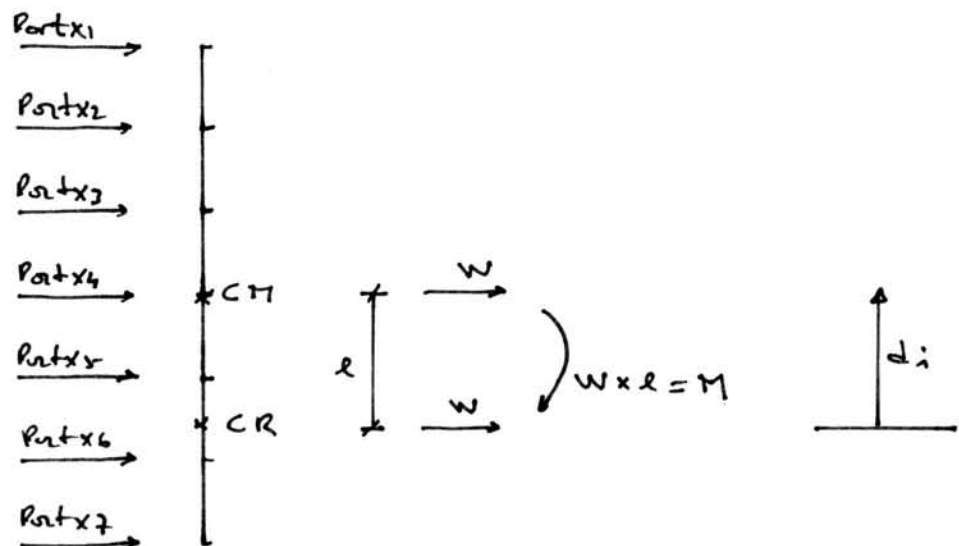


$$\sum m_0 = R_1 y_1 + R_2 y_2 + R_3 y_3 + R_4 y_4 + R_5 y_5 + R_6 y_6 + R_7 y_7 = R y_{CR}$$

$$\Rightarrow 17.34 \times (29.84 + 25.035 + 19.805) + 22.25 \times (14.9 + 0) + 229.71 \times (10.1 + 5.1) = 555.86 y_{CR}$$

$$\Rightarrow y_{CR} = 9.207 \text{ m}$$

$$e = 29.84 / 2 - 9.207 = 5.713 \text{ m}$$



d_i - distância das pórticas ao centro de rigidez
desprezou-se a contribuições das pórticas na
direção transversal

Port:co	d_i (m)	I_i (kN)
Portx1	20.633	17.34
Portx2	15.828	17.34
Portx3	10.598	17.34
Portx4	5.693	22.21
Portx5	0.893	229.71
Portx6	-4.107	229.71
Portx7	-9.207	22.21

I_i — corte basal

$$\sum I_i = 555.86 \text{ kN}$$

$$\sum I_i d_i^2 = 39623.11941 \text{ kN}$$

H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
90.51	86.40	51.26	38.71	43.01	43.01	46.28	46.28	36.05	29.64	29.64	15.63

$$F_i = \frac{H \times I_i}{\sum I_i} \quad F'_i = \frac{H \times d_i}{\sum I_i d_i^2} \times I_i d_i$$

$$F_i^T = F_i + F'_i$$

$$F_i^T = \frac{H_j \times I_i}{\sum I_i} \times \left(1 + \frac{d_i \times \sum I_i}{\sum I_i d_i^2} \right)$$

H — força do vento, calculada atrás

i — portico

j — andar

Port:co Piso j	Portx1	Portx2	Portx3	Portx4	Portx5	Portx6	Portx7
----------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

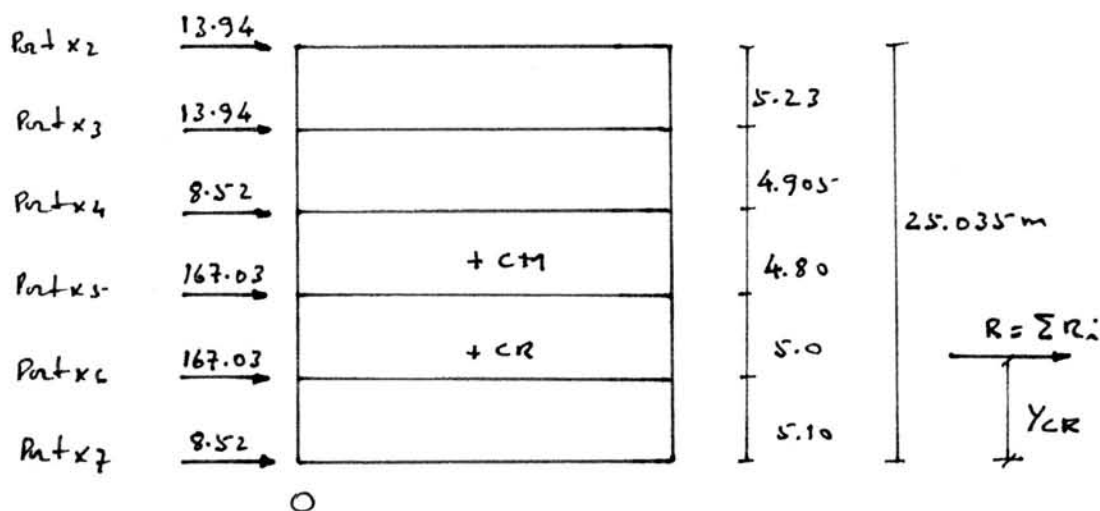
6° 7.49 6.41 5.22 5.27 40.08 25.09 0,94

7° 7.15 6.11 4.98 3.70 33.26 23.95 0,90

Como a estrutura não mantém a geometria em planta, recorro novamente ao ficheiro de dados e retiro os valores da área transversal das barras entre o 7º e 8º piso e entre o 8º e 9º piso.

8º piso

Excentricidade referente aos pórticos posicionados segundo a direcção x



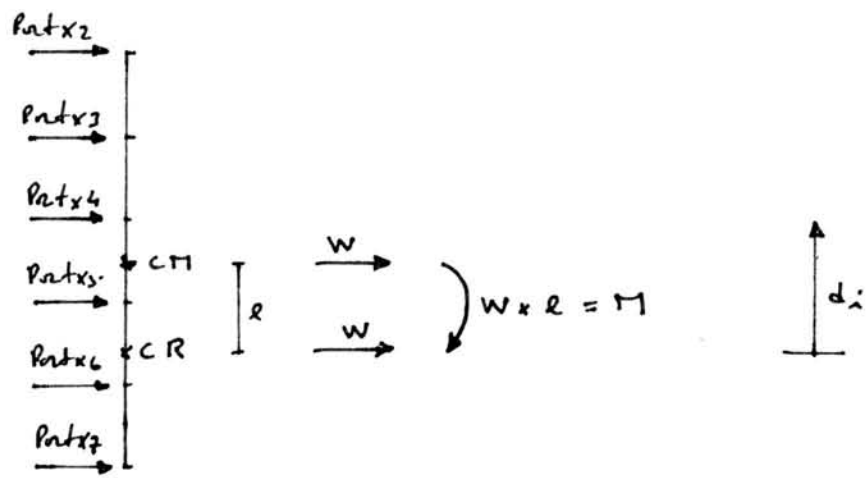
$$\sum M_o = R_2 y_2 + R_3 y_3 + R_4 y_4 + R_5 y_5 + R_6 y_6 + R_7 y_7 = R Y_{CR}$$

$$\Rightarrow 13.94 \times (25.035 + 19.805) + 8.52 \times (14.9 + 0) + 167.03 \times (10.1 + 5.1) =$$

$$= 378.98 Y_{CR}$$

$$\Rightarrow Y_{CR} = 8.673 \text{ m}$$

$$e = \frac{25.035}{2} - 8.673 = 3.8445 \text{ m}$$



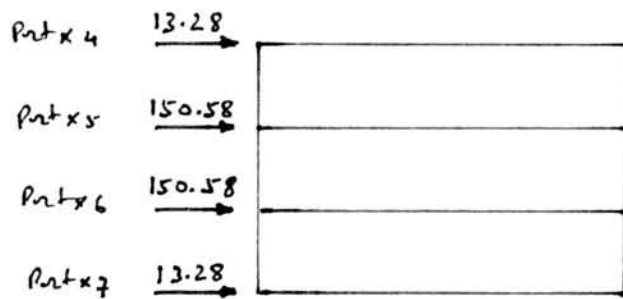
Pórtico	d_i (m)	I_i (kN)
P_{ntx2}	16.362	13.94
P_{ntx3}	11.132	13.94
P_{ntx4}	6.227	8.52
P_{ntx5}	1.427	167.03
P_{ntx6}	-3.573	167.03
P_{ntx7}	-8.673	8.52

$$\sum I_i = 378.98 \text{ kN}$$

$$\sum I_i d_i^2 = 8903.889 \text{ kNm}^2$$

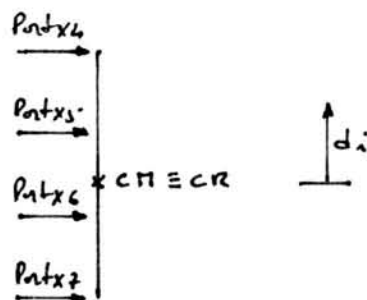
Pórtico Piso. j	P_{ntx2}	P_{ntx3}	P_{ntx4}	P_{ntx5}	P_{ntx6}	P_{ntx7}
8°	6.93	5.32	2.33	27.87	9.38	-0.48

Piso 9º e seguintes



$$e = 0$$

A estrutura a partir do 9º piso, inclusive, pode considerar-se simétrica na direção x.



Pnt x i	d _i (m)	I _i (kN)
Pnt x 4	7,5	13,28
Pnt x 5	2,5	150.58
Pnt x 6	-2,5	150.58
Pnt x 7	-7,5	13,28

$$\sum I_i = 327.72 \text{ kN}$$

$$\sum I_i d_i^2 = 3376.25 \text{ kN m}^2$$

Pnt x i Piso j	Pnt x 4	Pnt x 5	Pnt x 6	Pnt x 7
9º	7.54	17.51	17.51	1.54
10º	1.74	19.76	19.76	1.74
11º	1.74	19.76	19.76	1.74
12º	1.88	21.26	21.26	1.88
13º	1.88	21.26	21.26	1.88
14º	1.46	16.56	16.56	X

cálculo da acc_s do vento
segundo a direcção γ

Cobertura

16°

15°

14°

13°

12°

11°

10°

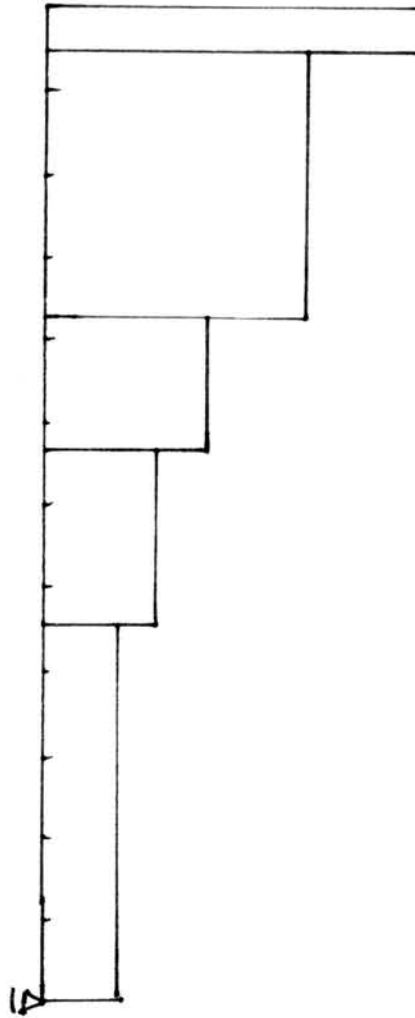
9°

8°

7°

6°

5°



$$W_{16} = 0,96 \times 1,2 = 1,152 \text{ kW/m}^2$$

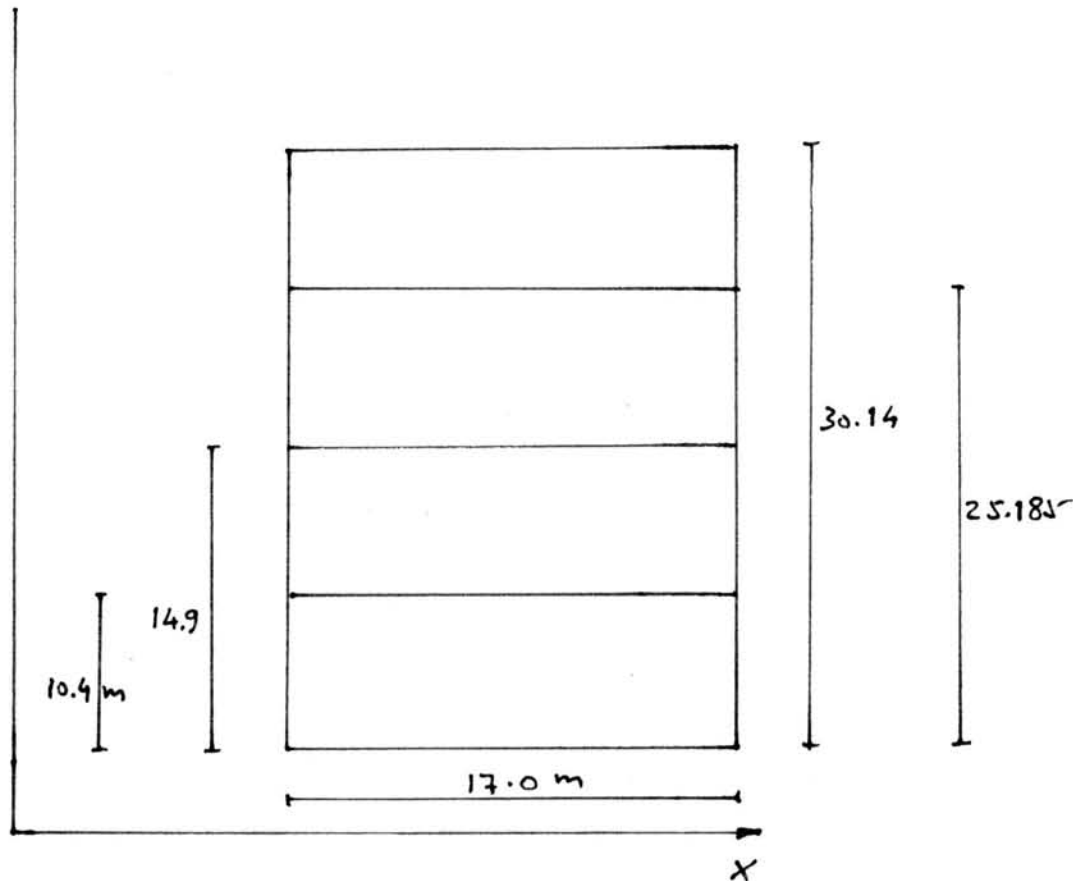
$$W_{15} = 0,91 \times 1,2 = 1,092 \text{ kW/m}^2$$

$$W_{12} = 0,85 \times 1,2 = 1,02 \text{ kW/m}^2$$

$$W_{10} = 0,79 \times 1,2 = 0,948 \text{ kW/m}^2$$

$$W_{7} = 0,7 \times 1,2 = 0,84 \text{ kW/m}^2$$

y



considerando Zona B

rugosidade tipo I

6º piso

$$h = 35,8 \text{ m}$$

$$a = 30,14 \text{ m}$$

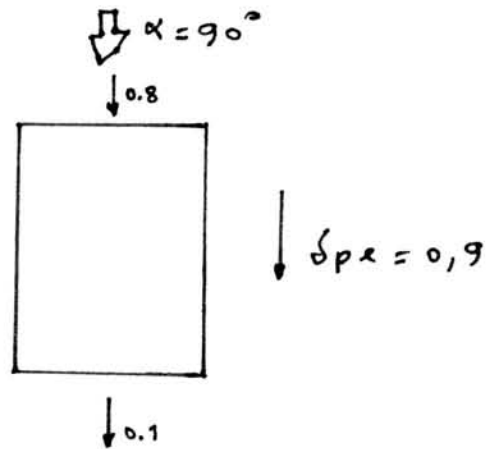
$$b = 17,0 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = 2,11 \text{ m}$$

$$\frac{a}{b} = 1,78 \text{ m}$$

$$\frac{2}{3} < \frac{h}{b} \leq 6$$

$$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$$



7º piso

$$h = 35,85 \text{ m}$$

$$a = 25,185 \text{ m}$$

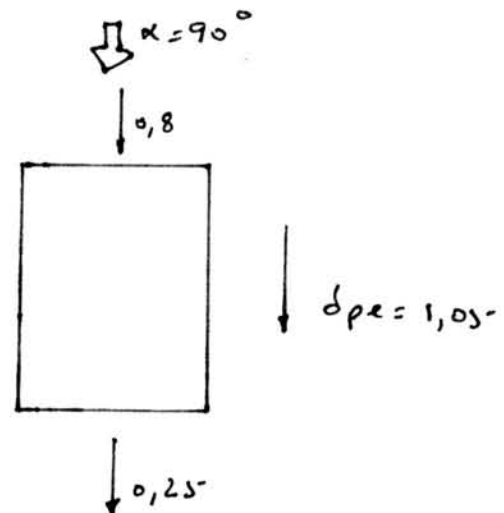
$$b = 17,0 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = 2,11$$

$$\frac{a}{b} = 1,480$$

$$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$$

$$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$



do 8º ao 13º piso

$$h = 17,0 \text{ m}$$

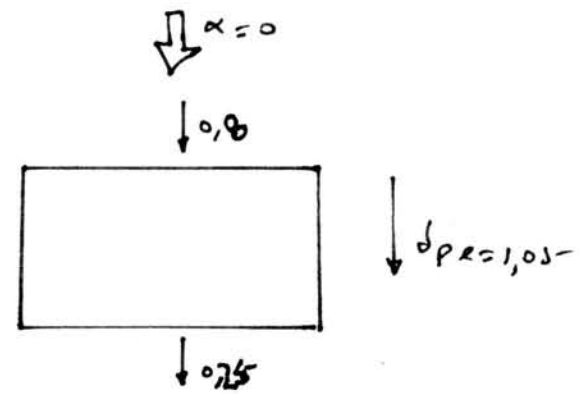
$$b = 14,9 \text{ m}$$

$$h/b = 2,45 \text{ m}$$

$$a/b = 1,14$$

$$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$$

$$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$



do 14º ao 16º piso

$$h = 35,85 \text{ m}$$

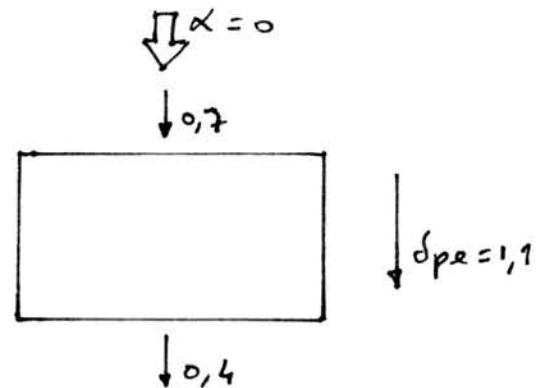
$$a = 17,0 \text{ m}$$

$$h/b = 3,45 \text{ m}$$

$$a/b = 1,64 \text{ m}$$

$$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$$

$$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$$



Considero $d_{pi} = 0$

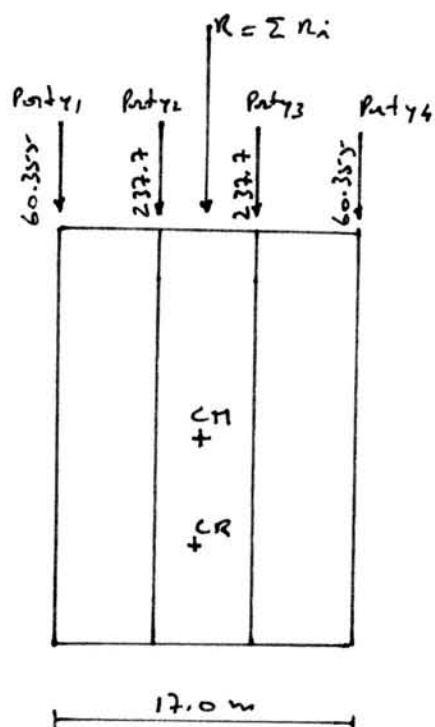
Cobertura	→	31.24 kN
16º	→	59.22
15º	→	59.22
14º	→	59.22
13º	→	52.80
12º	→	52.80
11º	→	49.07
10º	→	49.07
9º	→	43.48
8º	→	46.11
7º	→	48.73
5º	→	45.25

$$F = W_k \times \delta_p \times \text{Área}$$

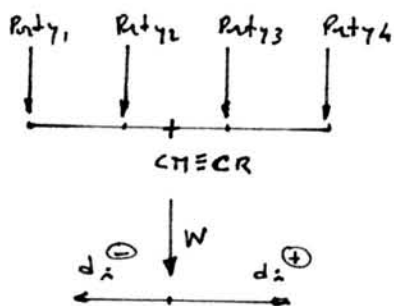
Vai-se usar a estrutura em comboio na calcula automática para se fazer a distribuição da força pelas partículas.

Pisos 6º e 7º

A estrutura pode considerar-se simétrica na direcção y



$$x = \frac{17.0}{2} - 8.5 = 0$$



Partícula	d_i (m)	I_i (m)
Pnt y1	-8.5	60.355
Pnt y2	-2.834	237.7
Pnt y3	2.834	237.7
Pnt y4	8.5	60.355

Despreze a contribuição das partições na direcção transversal.

H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
45.25	48.73	46.11	43.48	49.07	49.07	52.80	52.08	59.22	59.22	59.22	31.24

H_j - força do vento no piso j

I - corte basal

$$F_i^T = \frac{H_j \times I_i}{\sum I_i} \times \left(1 + \frac{e \times d_i \times \sum I_i}{\sum I_i \times d_i^2} \right) \quad \begin{array}{l} i - \text{p\acute{a}ntica} \\ j - \text{andar} \end{array}$$

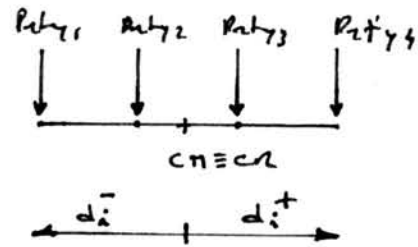
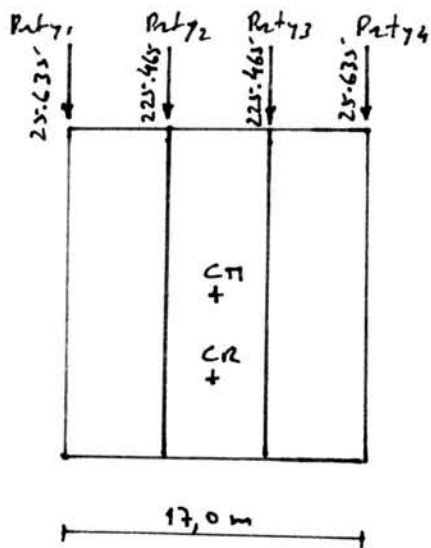
$$\sum I_i = 596.11 \text{ kN}$$

$$\sum I_i \times d_i^2 = 10068.5811 \text{ kNm}^2$$

Parti\o Piso j	Part y1	Part y2	Part y3	Part y4
6º	4.58	18.04	18.04	4.58
7º	4.93	19.43	19.43	4.93

Como a estrutura n\o mant\em a geometria em planta, recorro ao ficheiro de dados e retiro os valores do s\erco transversal dos barras entre o 7º e 8º piso e entre o 8º e 9º piso e entre o 14º e 15º piso.

$$8 = 12.50$$

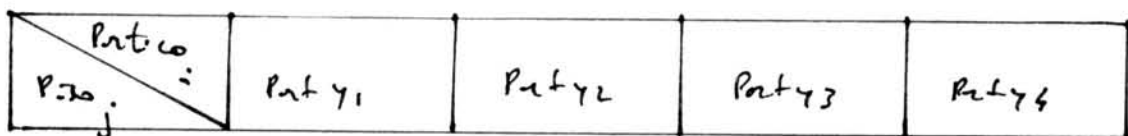


$$e = 0$$

Partico	d_i (m)	I_i (kN)
$P_{t\gamma_1}$	-8.5	25.635
$P_{t\gamma_2}$	-2.834	225.465
$P_{t\gamma_3}$	2.834	225.465
$P_{t\gamma_4}$	8.5	25.635

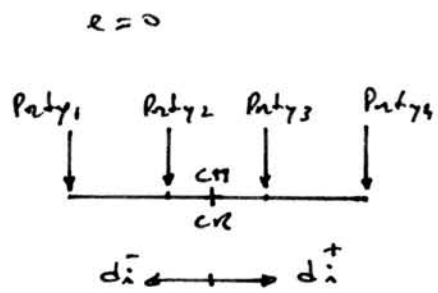
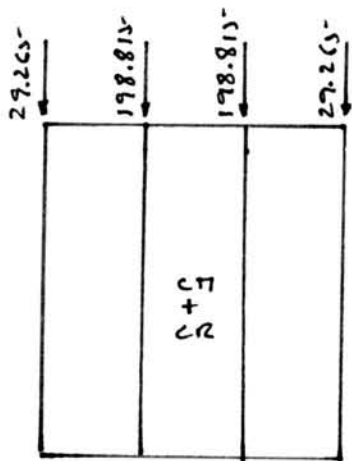
$$\sum I_i = 502.2 \text{ kN}$$

$$\sum I_i d_i^2 = 7325.92704716 \text{ m}^2$$



$$8 = 2.36 \quad 20.70 \quad 20.70 \quad 2.36$$

do pto 9º co pto 14º



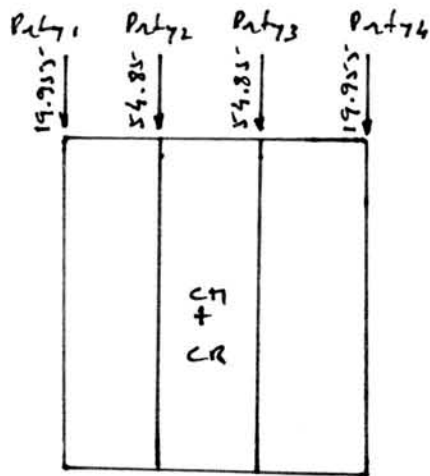
Pnty _i	di (m)	I _i (kW)
Pnty ₁	-8.5	29.265-
Pnty ₂	-2.834	198.815-
Pnty ₃	2.834	198.815-
Pnty ₄	8.5	29.265-

$$\sum I_i = 456.16 \text{ kW}$$

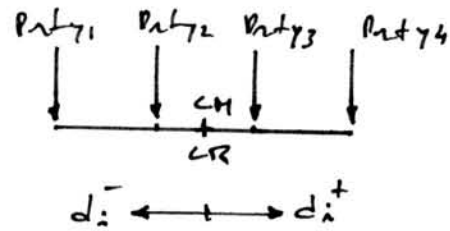
$$\sum I_i d_i^2 = 7422.380112 \text{ kW m}^2$$

Pnty_i Pnty_j	Pnty ₁	Pnty ₂	Pnty ₃	Pnty ₄
9º	2.79	18.95	18.95	2.74
10º	3.15	21.39	21.39	3.15
11º	3.15	21.39	21.39	3.15
12º	3.39	23.01	23.01	3.39
13º	3.39	23.01	23.01	3.39
14º	3.80	25.81	X	3.80

Do piso 15^o à cobertura



$$R = 0$$



Pórt. y	d_i (m)	I_i (kN)
Pnt y 1	-8.5	19.955
Pnt y 2	-2.834	54.85
Pnt y 3	2.834	54.85
Pnt y 4	8.5	19.955

$$\sum I_i = 149.61 \text{ kN}$$

$$\sum I_i d_i^2 = 3764.559193 \text{ kN m}^2$$

Piso j	Pnt y 1	Pnt y 2	Pnt y 3	Pnt y 4
----------	---------	---------	---------	---------

15^o 7.90 21.71 21.71 7.90

16^o 7.90 21.71 21.71 7.90

Cobertura 4.17 11.45 11.45 4.17



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000101597