



# Curso Online

## PROJETO DE EDIFICOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Prof. Esp. Rangel Costa Lage

[www.efct-cursos.com.br](http://www.efct-cursos.com.br)

AULA 05

---

# **AÇÕES HORIZONTAIS**

---

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

As **paredes** são os elementos de **contraventamento** quando se trata de alvenaria estrutural.

São elas que resistem aos esforços horizontais e devem ser verificadas adequadamente quanto à estabilidade global da estrutura.

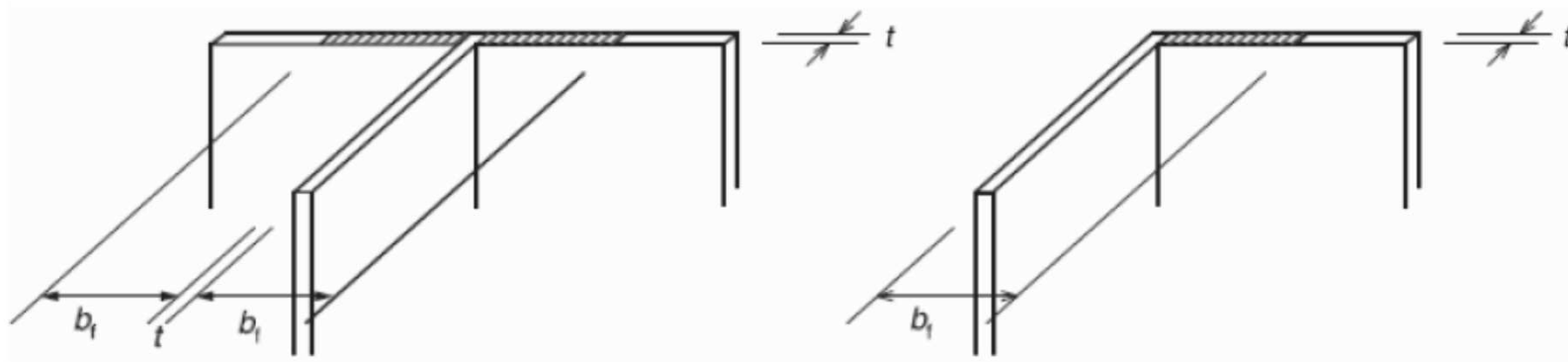
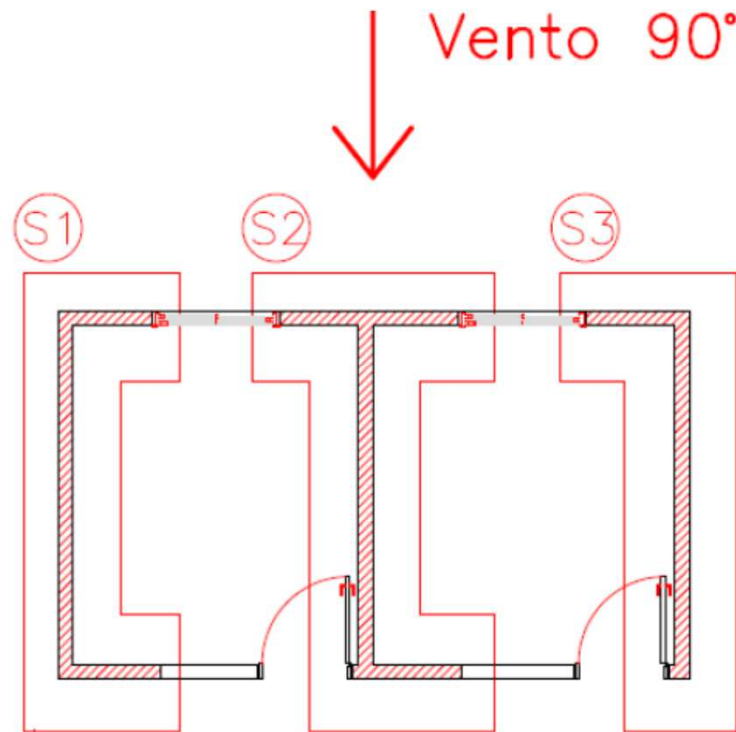


Figura 4.3.1 - Limite do comprimento da flange segundo a NBR15961-1.

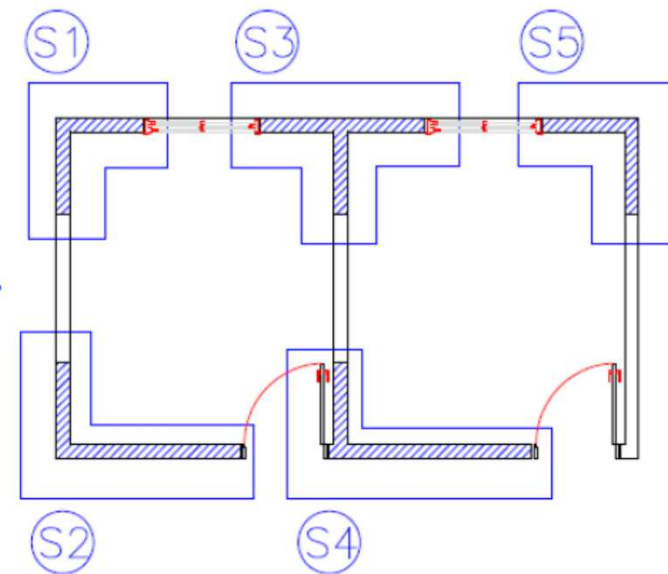
$$b_t \leq 6 \times t.$$

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

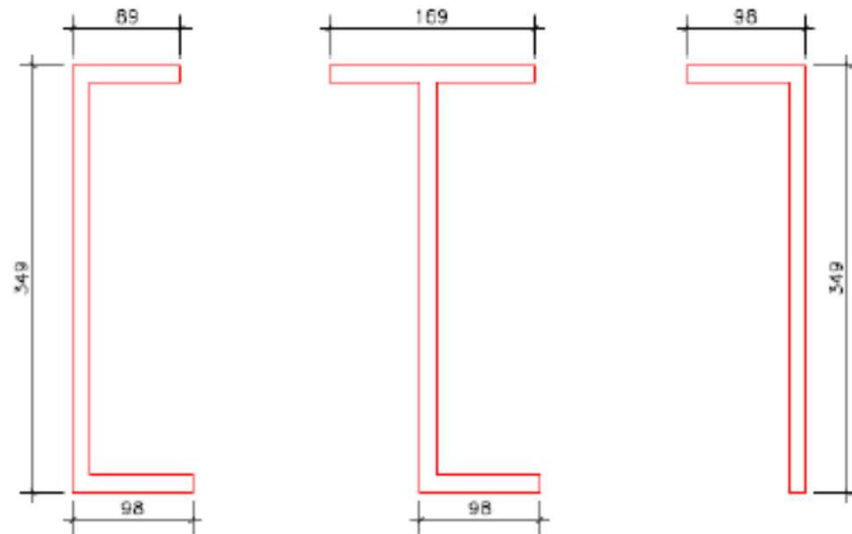


Vento 0°

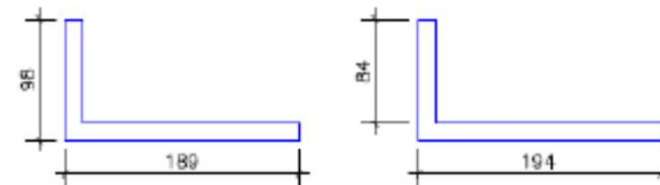
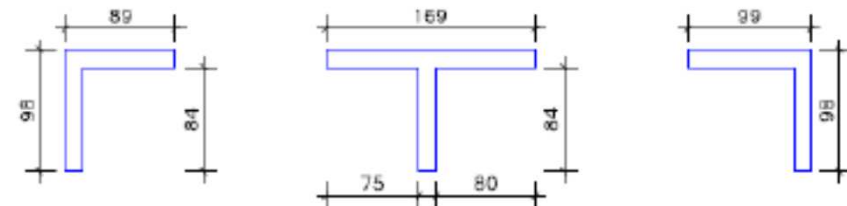


# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



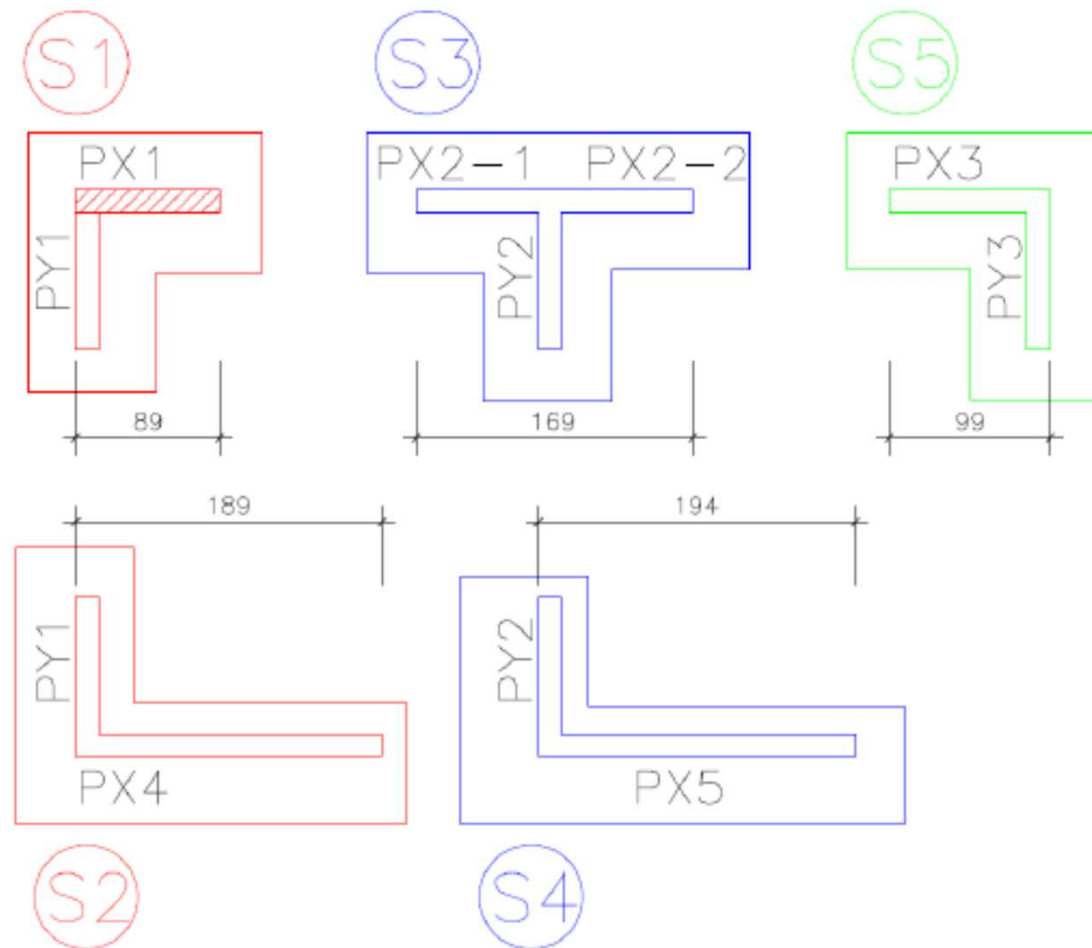
Ventos 90° e 270°



Vento 0° e 180°

# AÇÕES HORIZONTAIS

## CISALHAMENTO



# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

---

Para encontrar a **parcela** que cada sub-estrutura resiste da **força horizontal** e como se dá a distribuição de tensões, é necessário a obtenção das seguintes propriedades **geométricas** da seção:

- Posição do centro de gravidade (onde passa a linha neutra);
- Distâncias do C.G à borda de maior tração e maior compressão;
- Momentos de inércia para as direções do vento.

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

### I. Subestrutura "S1" para o vento incidindo à 90°.

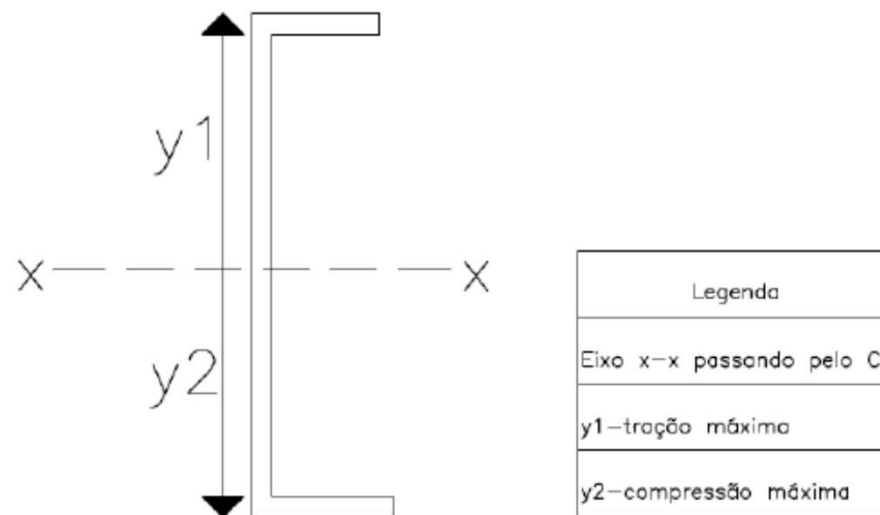


Figura 4.3.4 - Subestrutura "S1": caso de vento 90°.

a) Coordenada y do centro de gravidade da sub-estrutura:

$$y_{cg} = \sum_i \frac{\text{Área}_i \times y_{cg,i}}{\text{Área}_{total}}$$

$$y_{cg} = \frac{(98 \times 14 \times 7) + (321 \times 14 \times 174,5) + (89 \times 14 \times 342)}{(98 \times 14) + (321 \times 14) + (89 \times 14)}$$

$$y_{cg} = 171,532 \text{ cm}$$

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



b) Distâncias de tração  $y_1$  e compressão  $y_2$ :

$$y_1 = 349 \text{ cm} - y_{cg} = 177,468 \text{ cm}$$

$$y_2 = y_{cg} = 171,532 \text{ cm}$$

c) Momento de inércia em relação ao eixo x-x passando pelo centro de gravidade:

$$I_{xx} = \sum_i \left[ \frac{b_i \times h_i^3}{12} + \text{Área}_i \times (y_i - y_{cg})^2 \right]$$

$$\begin{aligned} I_{xx} = & \left[ \frac{98 \times 14^3}{12} + 98 \times 14 \times (7 - 171,532)^2 \right] \\ & + \left[ \frac{14 \times 321^3}{12} + 14 \times 321 \times (174,5 - 171,532)^2 \right] \\ & + \left[ \frac{89 \times 14^3}{12} + 89 \times 14 \times (342 - 171,532)^2 \right] \end{aligned}$$

$$I_{xx} = 112020248 \text{ cm}^4 \cong 1,1202 \text{ m}^4$$

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

### II. Subestrutura "S2" para o vento incidindo à 0°.

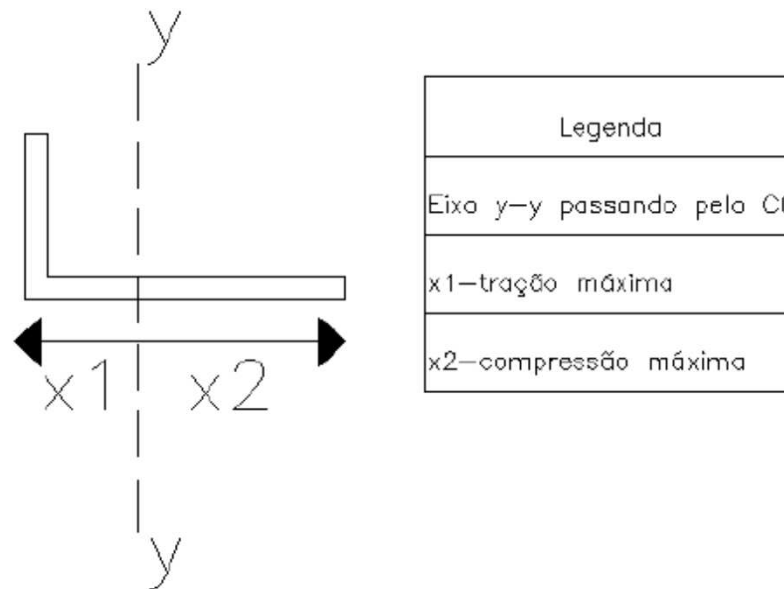


Figura 4.3.5 - Subestrutura "S2": caso de vento 0°.

a) Coordenada x do centro de gravidade da subestrutura:

$$x_{cg} = \sum_i \frac{Área_i \times x_{cgi}}{Área_{total}}$$
$$x_{cg} = \frac{(189 \times 14 \times 94,5) + (84 \times 14 \times 7)}{(189 \times 14) + (84 \times 14)}$$
$$x_{cg} = 67,577 \text{ cm}$$

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

b) Distâncias de tração  $x_1$  e compressão  $x_2$ :

$$x_1 = 189 \text{ cm} - x_{cg} = 121,423 \text{ cm}$$

$$x_2 = x_{cg} = 67,577 \text{ cm}$$

c) Momento de inércia em relação ao eixo y-y passando pelo centro de gravidade:

$$I_{yy} = \sum_i \left[ \frac{b_i \times h_i^3}{12} + \text{Área}_i \times (x_i - x_{cg})^2 \right]$$

$$I_{yy} = \left[ \frac{84 \times 14^3}{12} + 84 \times 14 \times (7 - 67,577)^2 \right]$$

$$+ \left[ \frac{14 \times 189^3}{12} + 14 \times 189 \times (94,5 - 67,577)^2 \right]$$

$$I_{yy} = 14129054 \text{ cm}^4 \cong 0,1413 \text{ m}^4$$

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

Tabela 4.3.1 - Característica geométrica das sub-estruturas para o caso de vento 0°.

Grupo	Sub-estruturas	Paredes	$I_{yi}$ (m <sup>4</sup> )	$R=I_{yi}/\Sigma(I_{yi})$	$x_1$ (m) tração	$x_2$ (m) compressão
1	S1	PX1 e PY1	0,0169	0,0434	0,263	0,627
	S2	PX4 e PY1	0,1413	0,3627	0,676	1,214
2	S3	PX2 e PY2	0,0566	0,1452	0,837	0,853
	S4	PX5 e PY2	0,1518	0,3897	0,698	1,242
3	S5	PX3 e PY3	0,0230	0,0590	0,690	0,300
SOMA			0,3896	1,000		

Tabela 4.3.2 - Característica geométrica das sub-estruturas para o caso de vento 90°.

Grupo	Sub-estruturas	Paredes	$I_{xi}$ (m <sup>4</sup> )	$R=I_{xi}/\Sigma(I_{xi})$	$y_1$ (m) tração	$y_2$ (m) compressão
1	S1	PX1, PX4 e PY1	1,1202	0,3358	1,775	1,715
2	S2	PX2, PX5 e PY2	1,4260	0,4275	1,559	1,931
3	S3	PX3 e PY3	0,7897	0,2367	1,443	2,047
SOMA			3,3360	1,000		

## AÇÕES HORIZONTAIS

### INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

---



### FORÇA HORIZONTAL E MOMENTOS FLETORES NAS CERCAS DE SUB-ESTRUTURA

A força horizontal que age na lateral do prédio se distribuí entre as cercas de subestruturas através de uma razão de inércias " $R_i$ ", representada na Tabela 4.3.1 e Tabela 4.3.2, e que pode ser interpretada como a porcentagem da força horizontal resistida pela sub-estrutura.

$$R_i = \frac{I_{ji}}{\sum_i I_{ji}}$$

$j$ : é a direção do vento analisado;

$i$ : é a subestrutura resistente.

## FORÇA HORIZONTAL E MOMENTOS FLETORES NAS CERCAS DE SUB-ESTRUTURA

A carga de horizontal característica  $F_{pk}$ , de vento ou desaprumo, que age em uma subestrutura num dado pavimento é calculado a partir da seguinte expressão:

$$F_{pk} = R_i \cdot F_h(z)$$

$F_h(z)$ : é a força horizontal característica que age no nível do pavimento;

$z$ : é a cota do pavimento;

$R_i$ : é a porcentagem de esforço horizontal absorvido pela sub-estrutura  $i$ .

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



### FORÇA HORIZONTAL E MOMENTOS FLETORES NAS CERCAS DE SUB-ESTRUTURA

Conhecida a carga horizontal que age na sub-estrutura e sua respectiva cota, determinar o momento fletor que atua no térreo ou em qualquer outro pavimento se torna uma tarefa simples. O momento fletor num dado andar do edifício é resultado da **soma das cargas horizontais** multiplicadas pelos respectivos **braços de alavanca** dos andares logo acima.

$$M_{k,i} = \sum_{pav.} (F_{pk,i,pav.} \times Z_{pav})$$

$M_{k,i}$ : momento característico da sub-estrutura  $i$  no pavimento térreo;

$F_{pk,i,pav.}$ : força horizontal característica que age sub-estrutura  $i$  do pavimento;

$Z_{pav.}$ : cota do pavimento.

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



### FORÇA HORIZONTAL E MOMENTO FLETOR PROVOCADOS PELO VENTO

#### I. Subestrutura S2 - Caso de vento à 0°

##### Cálculo da rigidez da subestrutura

$$R_{S2} = \frac{I_{S2}}{\sum_{i=0}^{i=5} I_{Si}}$$

$$R_{S2} = \frac{0,1413}{0,3896} = 0,3627$$

Cálculo do momento fletor

$$M_{base,k} = \sum_{j=0}^{j=4} M_{j,k}$$

onde:

$j$ : é o número do pavimento.

$$M_{base,k} = 24057 + 34067 + 20942 + 9116 + 0,0 = 88182 \text{ Nm} = 88,18 \text{ kNm}$$

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



Tabela 4.4.1.1 - Ação do vento na subestrutura S2.

<i>Força de vento característica no andar <math>F_v</math> (ver Tabela 4.2.1)</i>	<i>Força de vento característica na subestrutura S2 <math>F_{pk}(z) = R_i \cdot F_v(z)</math></i>	<i>Momento fletor. <math>M_{j,k}(z) = F_{pk}(z) \cdot z</math></i>
$F_v(11,60 \text{ m})$ $= 5717,8 \text{ N}$	$F_{pk}(11,60 \text{ m}) = 2073,8 \text{ N}$	$M_{4,k}(11,6) = 24057 \text{ Nm}$
$F_v(8,70 \text{ m})$ $= 10796,1 \text{ N}$	$F_{pk}(8,70 \text{ m}) = 3915,7 \text{ N}$	$M_{3,k}(8,70)$ $= 34067 \text{ Nm}$
$F_v(5,80 \text{ m}) = 9955,2 \text{ N}$	$F_{pk}(5,80 \text{ m}) = 3610,8 \text{ N}$	$M_{2,k}(5,80)$ $= 20942 \text{ Nm}$
$F_v(2,90 \text{ m}) = 8666,5 \text{ N}$	$F_{pk}(2,90 \text{ m}) = 3143,3 \text{ N}$	$M_{1,k}(2,90) = 9116 \text{ Nm}$
$F_v(0,00 \text{ m}) = 0,00 \text{ N}$	$F_{pk}(0,00 \text{ m}) = 0,00 \text{ N}$	$M_{0,k}(0,00) = 0,00 \text{ Nm}$

**Ri S2**  
**Vento 0**  
**= 0,3627**

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

### II. Subestrutura S1 - Caso de vento à 90°

#### Cálculo da rigidez da subestrutura

$$R_{S1} = \frac{I_{S1}}{\sum_{i=0}^{i=3} I_{Si}}$$

$$R_{S1} = \frac{1,1202}{3,3360} = 0,3358$$

#### Cálculo do momento fletor

$$M_{base,k} = \sum_{j=0}^{j=5} M_{j,k}$$

$$M_{base,k} = 51520 + 72959 + 44851 + 19522 = 188852 \text{ Nm} = 188,85 \text{ kNm}$$

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



Tabela 4.4.1.2 - Ação do vento na subestrutura S1.

<i>Força de vento característica no andar <math>F_v</math> (ver Tabela 4.2.2)</i>	<i>Força de vento característica na subestrutura S1 <math>F_{pk}(z) = R_i \cdot F_v(z)</math></i>	<i>Momento fletor <math>M_{j,k}(z) = F_{pk}(z) \cdot z</math></i>
$F_v(11,60\text{m})$  $= 13226,2 \text{ N}$	$F_{pk}(11,60\text{m}) = 4441,4 \text{ N}$	$M_{4,k}(11,6)$  $= 51520 \text{ Nm}$
$F_v(8,70\text{m}) = 24973,4 \text{ N}$	$F_{pk}(8,70\text{m}) = 8386,1 \text{ N}$	$M_{3,k}(8,70)$  $= 72959 \text{ Nm}$
$F_v(5,80\text{m}) = 23028,2 \text{ N}$	$F_{pk}(5,80\text{m}) = 7732,9 \text{ N}$	$M_{2,k}(5,80)$  $= 44851 \text{ Nm}$
$F_v(2,90\text{m}) = 20047,2 \text{ N}$	$F_{pk}(2,90\text{m}) = 6731,8 \text{ N}$	$M_{1,k}(2,90)$  $= 19522 \text{ Nm}$
$F_v(0,00\text{m}) = 0,00 \text{ N}$	$F_{pk}(0,00\text{m}) = 0,00 \text{ N}$	$M_{0,k}(0,00) = 0,00 \text{ Nm}$

**Ri S1**  
**Vento 90**  
**= 0,3358**

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

Tabela 4.4.1.3 - Solicitações devido ao vento 0° e 180°.

Andar	Carga de vento característica $F_{pk}$ (N)					Cota Z (m)	Momento característico na base $M_k$				
	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3
	S1	S2	S3	S4	S5		S1	S2	S3	S4	S5
	PX1 e PY1	PX4 e PY1	PX2 e PY2	PX5 e PY2	PX3 e PY3		PX1 e PY1	PX4 e PY1	PX2 e PY2	PX5 e PY2	PX3 e PY3
cob	248,4	2073,7	830,0	2228,0	337,6	11,60	2,88	24,06	9,63	25,84	3,92
3º Pav	469,0	3915,6	1567,3	4206,8	637,5	8,70	4,08	34,07	13,64	36,60	5,55
2º Pav	432,5	3610,6	1445,2	3879,1	587,8	5,80	2,51	20,94	8,38	22,50	3,41
1º Pav	376,5	3143,2	1258,1	3377,0	511,7	2,90	1,09	9,12	3,65	9,79	1,48
Térreo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOMA	1526,4	12743,0	5100,6	13690,9	2074,7	SOMA	10,56	88,18	35,29	94,74	14,36

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

Tabela 4.4.1.4 - Solicitações devido ao vento 90° e 270°.

Andar	Carga de vento característica $F_{pk}$ (N)			Cota Z (m)	Momento característico na base $M_k$ (kNm)		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	S1	S2	S3		S1	S2	S3
	PX1, PX4 e PY1	PX2, PX5 e PY2	PX3 e PY3		PX1, PX4 e PY1	PX2, PX5 e PY2	PX3 e PY3
cob	4441,3	5653,8	3131,1	11,60	51,52	65,58	36,32
3º Pav	8385,9	10675,4	5912,1	8,70	72,96	92,88	51,44
2º Pav	7732,7	9843,9	5451,6	5,80	44,85	57,09	31,62
1º Pav	6731,7	8569,6	4745,9	2,90	19,52	24,85	13,76
Térreo	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
SOMA	27291,6	34742,7	19240,7	SOMA	188,85	240,41	133,14

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES

### FORÇA HORIZONTAL E MOMENTO FLETOR DEVIDO AO DESAPRUMO

#### I. Subestrutura S2 - Desaprumo na direção do vento à 0°

$$R_{S2} = \frac{I_{S2}}{\sum_{i=0}^{i=5} I_{Si}}$$

$$R_{S2} = \frac{0,1413}{0,3896} = 0,3627$$

$$M_{base,k} = \sum_{j=0}^{j=4} M_{j,k}$$

$$M_{base,k} = 2234,2 + 1675,6 + 1117,1 + 558,5 + 0,0 = 5585,4 \text{ Nm} = 5,585 \text{ kNm}$$

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



Tabela 4.4.2.1 - Ação de desaprumo na subestrutura S2.

<i>Força horizontal equivalente ao desaprumo no andar <math>F_{des}</math> (ver Tabela 4.1.1)</i>	<i>Força desaprumo característica na subestrutura S2 <math>F_{pk}(z) = R_i \cdot F_{des}(z)</math></i>	<i>Momento fletor. <math>M_k</math> <math>M_{j,k}(z) = F_{pk}(z) \cdot z</math></i>
$F_{des}(11,60\text{m}) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(11,60 \text{ m}) = 192,6 \text{ N}$	$M_{4,k}(11,6) = 2234,2 \text{ Nm}$
$F_{des}(8,70\text{m}) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(8,70 \text{ m}) = 192,6 \text{ N}$	$M_{3,k}(8,70) = 1675,6 \text{ Nm}$
$F_{des}(5,80\text{m}) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(5,80 \text{ m}) = 192,6 \text{ N}$	$M_{2,k}(5,80) = 1117,1 \text{ Nm}$
$F_{des}(2,90\text{m}) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(2,90 \text{ m}) = 192,6 \text{ N}$	$M_{1,k}(2,90) = 558,5 \text{ Nm}$
$F_{des}(0,00\text{m}) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(0,00 \text{ m}) = 192,6 \text{ N}$	$M_{0,k}(0,00) = 0,00 \text{ Nm}$

**Ri S2**  
**Vento 0**  
**= 0,3627**

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



## FORÇA HORIZONTAL E MOMENTO FLETOR DEVIDO AO DESAPRUMO

### II. Subestrutura S1 - Desaprumo na direção do vento à 90°

$$R_{S1} = \frac{I_{S1}}{\sum_{i=0}^{i=3} I_{Si}}$$

$$R_{S1} = \frac{1,1202}{3,3360} = 0,3358$$

$$M_{base,k} = \sum_{j=0}^{j=5} M_{j,k}$$

$$M_{base,k} = 2068,3 + 1551,2 + 1034,1 + 517,1 = 5170,7 \text{ Nm} = 5,171 \text{ kNm}$$

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



Tabela 4.4.2.2 - Ação de desaprumo na subestrutura S1.

<i>Força horizontal equivalente ao desaprumo no andar <math>F_{des}</math> (ver Tabela 4.1.1)</i>	<i>Força de desaprumo característica na subestrutura <math>F_{pk}(z) = R_i \cdot F_v(z)</math></i>	<i>Momento fletor. <math>M_k</math> <math>M_{j,k}(z) = F_{pk}(z) \cdot z</math></i>
$F_{des}(11,60m) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(11,60m) = 178,3 \text{ N}$	$M_{4,k}(11,6)$ $= 2068,3Nm$
$F_{des}(8,70m) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(8,70m) = 178,3 \text{ N}$	$M_{3,k}(8,70)$ $= 1551,2Nm$
$F_{des}(5,80m) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(5,80m) = 178,3 \text{ N}$	$M_{2,k}(5,80)$ $= 1034,1Nm$
$F_{des}(2,90m) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(2,90m) = 178,3 \text{ N}$	$M_{1,k}(2,90) = 517,1Nm$
$F_{des}(0,00m) = 0,531 \text{ kN}$	$F_{pk}(0,00m) = 178,3 \text{ N}$	$M_{0,k}(0,00) = 0,00 \text{ Nm}$

**Ri S1**  
**Vento 90**  
**= 0,3358**

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



Tabela 4.4.2.3 - Força equivalentes e momentos fletores devido desaprumo na direção do vento 0° e 180°.

Andar	Carga equivalente de desaprumo $F_{des}$ (N)					Cota Z (m)	Momento característico na base $M_k$ (kNm)				
	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3
	S1	S2	S3	S4	S5		S1	S2	S3	S4	S5
	PX1 e PY1	PX4 e PY1	PX2 e PY2	PX5 e PY2	PX3 e PY3		PX1 e PY1	PX4 e PY1	PX2 e PY2	PX5 e PY2	PX3 e PY3
cob.	23,1	192,6	77,1	206,9	31,4	11,60	0,27	2,23	0,89	2,40	0,36
3º Pav	23,1	192,6	77,1	206,9	31,4	8,70	0,20	1,68	0,67	1,80	0,27
2º Pav	23,1	192,6	77,1	206,9	31,4	5,80	0,13	1,12	0,45	1,20	0,18
1º Pav	23,1	192,6	77,1	206,9	31,4	2,90	0,07	0,56	0,22	0,60	0,09
Térreo	23,1	192,6	77,1	206,9	31,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOMA	115,3	963,0	385,4	1034,6	156,8	SOMA	0,67	5,59	2,24	6,00	0,91

# AÇÕES HORIZONTAIS

## INÉRCIA RESISTENTE DOS GRUPOS DE PAREDES



Tabela 4.4.2.4 - Forças equivalentes e momentos fletores devido ao desaprumo na direção do vento 90° e 270°.

Andar	Carga equivalente de desaprumo $F_{des}$ (N)			Cota Z (m)	Momento característico na base $M_k$ (kNm)		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	S1	S2	S3		S1	S2	S3
	PX1, PX4 e PY2	PX2, PX5 e PY2	PX3 e PY3		PX1, PX4 e PY2	PX2, PX5 e PY2	PX3 e PY3
cob	178,3	227,0	125,7	11,60	2,07	2,63	1,46
3º Pav	178,3	227,0	125,7	8,70	1,55	1,97	1,09
2º Pav	178,3	227,0	125,7	5,80	1,03	1,32	0,73
1º Pav	178,3	227,0	125,7	2,90	0,52	0,66	0,36
Térreo	178,3	227,0	125,7	0,00	0,00	0,00	0,00
SOMA	891,6	1135,0	628,6	SOMA	5,17	6,58	3,65

---

# TENSÕES NORMAIS

---

# TENSÕES NORMAIS

## CONCEITO

---



Partindo do princípio da **superposição de efeitos**, é possível separar a solicitação da estrutura em dois casos: **flexão simples** e **compressão simples**.

Desta forma se torna fácil entender o comportamento da estrutura e realizar as **combinações de Estado Limite Último**, propostas pela ABNT NBR 15961-1.

Tais combinações de tensões precisam ser verificadas devendo permanecer abaixo do limite imposto pela resistência do bloco de alvenaria estrutural escolhido.

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

---



Os momentos fletores provocados pelo desaprumo e pela ação do vento provocam **tensões normais perpendiculares à fiada** de alvenaria, e que podem ser encontradas através da seguinte equação:

$$\sigma = \frac{M_k}{I} \times y$$

$\sigma$ : tensão normal característica;

$M_k$ : momento fletor característico;

$I$ : momento de inércia da seção;

$y$ : distância do ponto analisado em relação à linha neutra.

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

---



### VENTO

#### I. Subestrutura S1 - Caso de vento 90°

##### a) Dados da seção conforme a Tabela 4.3.2

Inércia:  $I_{xx} = 1,1202 \text{ m}^4$

Braço de alavanca de tração:  $y_1 = -1,775 \text{ m}$

Braço de alavanca de compressão:  $y_2 = 1,715 \text{ m}$

##### b) Momento fletor característico

$M_k = 188,85 \text{ kNm}$  (ver Tabela 4.4.1.4 - Solicitações devido ao vento 90° e 270°).

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

---



### VENTO

c) Tensões normais devido à flexão

$$\sigma = \frac{M_k}{I_{xx}} \times (y)$$

**Tensão mínima:**

$$\sigma_{\min,k} = \frac{188,85}{1,1202} \times (-1,775) = -299,24 \frac{kN}{m^2} \cong -0,0299 kN/cm^2$$

**Tensão máxima:**

$$\sigma_{\max,k} = \frac{188,85}{1,1202} \times 1,715 = 289,12 \frac{kN}{m^2} \cong 0,0289 kN/cm^2$$

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

---



### VENTO

#### II. Subestrutura S2 - Caso de vento 0°

##### a) Dados da seção conforme a Tabela 4.3.1

$$\text{Inércia : } I_{yy} = 0,141 \text{ m}^4$$

$$\text{Braço de alavanca de tração : } x_1 = -0,676 \text{ m}$$

$$\text{Braço de alavanca de compressão : } x_2 = 1,214 \text{ m}$$

##### b) Momento fletor solicitante

$$M_k = 88,18 \text{ kNm (ver Tabela 4.4.1.3 - Solicitações devido ao vento 0° e 180°.)}$$

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

---

### VENTO

c) Tensões normais devido à flexão

$$\sigma = \frac{M_k}{I_{yy}} \times (x)$$

Tensão mínima:

$$\sigma_{min,k} = \frac{88,18}{0,141} \times (-0,676) = -422,76 \frac{kN}{m^2} \cong -0,04227 kN/cm^2$$

Tensão máxima:

$$\sigma_{max,k} = \frac{88,18}{0,141} \times 1,214 = 759,22 \frac{kN}{m^2} \cong 0,0759 kN/cm^2$$

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

Tabela 5.1.1.1 - Tensão normal devido à flexão simples: caso de vento 0°.

Vento 0°							Tensões de flexão	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$I_{yy}$ (m <sup>4</sup> )	$x_1$ (m) tração	$x_2$ (m) compr.	$M_k$ (kNm)	$\sigma_{v,min,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,max,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
1	S1	PX1 e PY1	0,017	-0,263	0,627	10,56	-0,0164	0,0391
	S2	PX4 e PY1	0,141	-0,676	1,214	88,18	-0,0422	0,0758
2	S3	PX2 e PY2	0,057	-0,837	0,853	35,29	-0,0522	0,0533
	S4	PX5 e PY2	0,152	-0,698	1,242	94,74	-0,0436	0,0775
3	S5	PX3 e PY3	0,023	-0,690	0,300	14,36	-0,0431	0,0187

Tabela 5.1.1.2 - Tensão normal devido à flexão simples: caso de vento 180°.

Vento 180°							Tensões de flexão	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$I_{yy}$ (m <sup>4</sup> )	$x_1$ (m) tração	$x_2$ (m) compr.	$M_k$ (kNm)	$\sigma_{v,min,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,max,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
1	S1	PX1 e PY1	0,017	0,263	-0,627	10,56	-0,0391	0,0164
	S2	PX4 e PY1	0,141	0,676	-1,214	88,18	-0,0758	0,0422
2	S3	PX2 e PY2	0,057	0,837	-0,853	35,29	-0,0533	0,0522
	S4	PX5 e PY2	0,152	0,698	-1,242	94,74	-0,0775	0,0436
3	S5	PX3 e PY3	0,023	0,690	-0,300	14,36	-0,0187	0,0431

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

Tabela 5.1.1.3 - Tensão normal devido à flexão simples: caso de vento 90°.

Vento 90°							Tensões de flexão	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$I_{xx}$ (m <sup>4</sup> )	$Y_1$ (m) tração	$Y_2$ (m) compr.	$M_k$ (kNm)	$\sigma_{v,min,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,max,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
1	S1	PX1, PX4 e PY1	1,120	-1,775	1,715	188,85	-0,0299	0,0289
2	S2	PX2, PX5 e PY2	1,426	-1,559	1,931	240,41	-0,0263	0,0326
3	S3	PX3 e PY3	0,790	-1,443	2,047	133,14	-0,0243	0,0345

Tabela 5.1.1.4 - Tensão normal devido à flexão simples: caso de vento 270°.

Vento 270°							Tensões de flexão	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$I_{xx}$ (m <sup>4</sup> )	$Y_1$ (m) tração	$Y_2$ (m) compr.	$M_k$ (kNm)	$\sigma_{v,min,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,max,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
1	S1	PX1, PX4 e PY1	1,120	1,775	-1,715	188,85	-0,0289	0,0299
2	S2	PX2, PX5 e PY2	1,426	1,559	-1,931	240,41	-0,0326	0,0263
3	S3	PX3 e PY3	0,790	1,443	-2,047	133,14	-0,0345	0,0243

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES



**DESAPRUMO** (A diferença está no valor da força horizontal considerada -  $F_{des}$ )

### I. Subestrutura S1 - Desaprumo na direção do vento à 90°

#### a) Dados da seção conforme a Tabela 4.3.2

Inércia:  $I_{xx} = 1,1202 \text{ m}^4$

Comprimento de tração:  $y_1 = -1,775 \text{ m}$

Comprimento de compressão:  $y_2 = 1,715 \text{ m}$

#### b) Momento fletor característico

$M_k = 5,17 \text{ kNm}$  (ver Tabela 4.4.2.4 - Forças equivalentes e momentos fletores devido ao desaprumo na direção do vento 90° e 270°).

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

---



c) Tensões normais devido à flexão

$$\sigma = \frac{M_k}{I_{xx}} \times (y)$$

Tensão mínima:

$$\sigma_{\min,k} = \frac{5,17}{1\,1202} \times (-1,775) = -8,192 \frac{kN}{m^2} \cong -0,0008 \, kN/cm^2$$

Tensão máxima:

$$\sigma_{\max,k} = \frac{5,17}{1,1202} \times 1,715 = 7,915 \frac{kN}{m^2} \cong 0,0008 \, kN/cm^2$$

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES



**DESAPRUMO** (A diferença está no valor da força horizontal considerada -  $F_{des}$ )

### II. Subestrutura S2 - Desaprumo na direção do vento à 0°

#### d) Dados da seção conforme a Tabela 4.3.1

$$\text{Inércia : } I_{yy} = 0,141 \text{ m}^4$$

$$\text{Comprimento de tração : } x_1 = -0,676 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento de compressão : } x_2 = 1,214 \text{ m}$$

#### e) Momento fletor solicitante

$M_k = 5,59 \text{ kNm}$  (ver Tabela 4.4.2.3 - Força equivalentes e momentos fletores devido desaprumo na direção do vento 0° e 180°).

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

---



f) Tensões normais devido à flexão

$$\sigma = \frac{M_k}{I_{yy}} \times (x)$$

**Tensão mínima:**

$$\sigma_{\min,k} = \frac{5,59}{0,141} \times (-0,676) = -26,8 \frac{kN}{m^2} \cong -0,0027 kN/cm^2$$

**Tensão máxima:**

$$\sigma_{\max,k} = \frac{5,59}{0,141} \times 1,214 = 48,13 \frac{kN}{m^2} \cong 0,0048 kN/cm^2$$

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

Tabela 5.1.2.1 - Tensão normal devido ao desaprumo na direção do vento 0°.

Desaprumo direção 0°							Tensão flexão/desaprumo	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$I_{yy}$ (m <sup>4</sup> )	$x_1$ (m) tração	$x_2$ (m) compr.	$M_k$ (kNm)	$\sigma_{\min,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\max,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
1	S1	PX1 e PY1	0,017	-0,263	0,627	0,67	-0,0010	0,0025
1	S2	PX4 e PY1	0,141	-0,676	1,214	5,59	-0,0027	0,0048
2	S3	PX2 e PY2	0,057	-0,837	0,853	2,24	-0,0033	0,0034
2	S4	PX5 e PY2	0,152	-0,698	1,242	6,00	-0,0028	0,0049
3	S5	PX3 e PY3	0,023	-0,690	0,300	0,91	-0,0027	0,0012

Tabela 5.1.2.2 - Tensão normal devido ao desaprumo na direção do vento 180°.

Desaprumo direção 180°							Tensão flexão/desaprumo	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$I_{yy}$ (m <sup>4</sup> )	$x_1$ (m) tração	$x_2$ (m) compr.	$M_k$ (kNm)	$\sigma_{\min,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\max,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
1	S1	PX1 e PY1	0,017	0,263	-0,627	0,67	-0,0025	0,0010
1	S2	PX4 e PY1	0,141	0,676	-1,214	5,59	-0,0048	0,0027
2	S3	PX2 e PY2	0,057	0,837	-0,853	2,24	-0,0034	0,0033
2	S4	PX5 e PY2	0,152	0,698	-1,242	6,00	-0,0049	0,0028
3	S5	PX3 e PY3	0,023	0,690	-0,300	0,91	-0,0012	0,0027

# TENSÕES NORMAIS

## FLEXÃO SIMPLES

Tabela 5.1.2.3 - Tensão normal devido ao desaprumo na direção do vento 90°.

Desaprumo direção 90°							Tensão flexão/desaprumo	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	I <sub>xx</sub> (m <sup>4</sup> )	Y <sub>1</sub> (m) tração	Y <sub>2</sub> (m) compr.	M <sub>k</sub> (kNm)	σ <sub>min,k</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>máx,k</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )
1	S1	PX1, PX4 e PY2	1,120	-1,775	1,715	5,17	-0,0008	0,0008
2	S2	PX2, PX5 e PY2	1,426	-1,559	1,931	6,58	-0,0007	0,0009
3	S3	PX3 e PY3	0,790	-1,443	2,047	3,65	-0,0007	0,0009

Tabela 5.1.2.4 - Tensão normal devido ao desaprumo na direção do vento 270°.

Desaprumo direção 270°							Tensão flexão/desaprumo	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	I <sub>xx</sub> (m <sup>4</sup> )	Y <sub>1</sub> (m) tração	Y <sub>2</sub> (m) compr.	M <sub>k</sub> (kNm)	σ <sub>min,k</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>máx,k</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )
1	S1	PX1, PX4 e PY2	1,120	1,775	-1,715	5,17	-0,0008	0,0008
2	S2	PX2, PX5 e PY2	1,426	1,559	-1,931	6,58	-0,0009	0,0007
3	S3	PX3 e PY3	0,790	1,443	-2,047	3,65	-0,0009	0,0007

---

# **DIMENSIONAMENTO**

---

## DIMENSIONAMENTO

### TENSÃO MÁXIMA DEVIDO À FLEXO-COMPRESSÃO

A verificação quanto à compressão máxima é realizada através de **duas combinações**.

Uma delas admite a carga accidental da laje como sendo a ação principal accidental e o vento como ação secundária, na outra, a principal é proveniente da ação do vento e a accidental da laje torna-se secundária.

O limite de resistência característica da parede  $f_k$  é dado pelo **maior valor** entre as duas combinações.

$$\frac{\gamma_{fq} \cdot \psi_0 \cdot Q_{accidental} + \gamma_{fg} \cdot G}{R} + \frac{\gamma_{fq} \cdot Q_{vento} + \gamma_{fg} \cdot G_{des}}{1,5} \leq f_k / \gamma_m$$

$$\frac{\gamma_{fq} \cdot Q_{accidental} + \gamma_{fg} \cdot G}{R} + \frac{\gamma_{fq} \cdot \psi_0 \cdot Q_{vento} + \gamma_{fg} \cdot G_{des}}{1,5} \leq f_k / \gamma_m$$

$$f_k = 0,7 \cdot f_{pk};$$

$$\gamma_{fq} = \gamma_{fg} = 1,4;$$

$$\psi_0 = 0,5 \text{ (accidental da laje)}; 0,6 \text{ (vento)}; \quad \gamma_m = 2,0.$$

## DIMENSIONAMENTO

### TENSÃO MÁXIMA DEVIDO À FLEXO-COMPRESSÃO



Substituindo os valores na equação:

$$\frac{0,7 \cdot Q_{acidental} + 1,4 \cdot G}{R} + \frac{1,4 \cdot Q_{máx,vento} + 1,4 \cdot G_{máx,des}}{1,5} \leq f_k/2,0$$

$$\frac{1,4 \cdot Q_{acidental} + 1,4 \cdot G}{R} + \frac{0,84 \cdot Q_{máx,vento} + 1,4 \cdot G_{máx,des}}{1,5} \leq f_k/2,0$$

Simplificando:

$$\frac{1,4 \cdot Q_{acidental} + 2,8 \cdot G}{R} + 1,867 \cdot Q_{máx,vento} + 1,867 \cdot G_{máx,des} \leq f_{k,1}$$

$$\frac{2,8 \cdot Q_{acidental} + 2,8 \cdot G}{R} + 1,12 \cdot Q_{máx,vento} + 1,867 \cdot G_{máx,des} \leq f_{k,2}$$

# DIMENSIONAMENTO

## TENSÃO MÁXIMA DEVIDO À FLEXO-COMPRESSÃO



Tabela 6.1.1 - Resumo das tensões atuantes na direção 0°.

Direção 0°			Tensões Permanentes (G)			Tensões Acidentais (Q)		
			Normal	Desaprumo		Normal	Vento 0°	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$\sigma_{N,perm,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{des,máx,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{des,mín,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{N,acid,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,máx,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,mín,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
1	S1	PX1 e PY1	0,0301	0,0025	-0,0010	0,0041	0,0391	-0,0164
1	S2	PX4 e PY1	0,0301	0,0048	-0,0027	0,0041	0,0758	-0,0422
2	S3	PX2 e PY2	0,0410	0,0034	-0,0033	0,0092	0,0533	-0,0522
2	S4	PX5 e PY2	0,0410	0,0049	-0,0028	0,0092	0,0775	-0,0436
3	S5	PX3 e PY3	0,0320	0,0012	-0,0027	0,0049	0,0187	-0,0431

# DIMENSIONAMENTO

## TENSÃO MÁXIMA DEVIDO À FLEXO-COMPRESSÃO

- Sub-estrutura S1 - caso de vento 0°

$$\frac{1,4 \cdot 0,0041 + 2,8 \cdot 0,0301}{0,875} + 1,867 \cdot 0,0391 + 1,867 \cdot 0,0025 \leq f_{k,1}$$

$$f_{k,1} = 0,181 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{2,8 \cdot 0,0041 + 2,8 \cdot 0,0301}{0,875} + 1,12 \cdot 0,0391 + 1,867 \cdot 0,0025 \leq f_{k,2}$$

$$f_{k,2} = 0,158 \text{ kN/cm}^2$$

A resistência do prisma para a subestrutura é dada pela relação:

$$f_{pk} = \frac{f_k}{0,7} = 0,259 \text{ kN/cm}^2$$

A resistência mínima necessária ao bloco de alvenaria estrutural:

$$f_{bk} = \frac{f_{pk}}{0,8} = 0,324 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \approx 3,24 \text{ MPa}$$

## DIMENSIONAMENTO

### TENSÃO MÍNIMA DEVIDO À FLEXO-COMPRESSÃO

---

A tensão **mínima** provocada pela flexão da estrutura é calculada para se identificar a necessidade de **armar** um determinado trecho de parede. Essa necessidade decorre da solicitação de **tração** no trecho superar a **resistência à tração da argamassa**, devendo ser adicionadas barras verticais para combater este esforço.

Para obter a tensão mínima a ABNT NBR 15961-1 considera **90% da carga permanente** agindo no trecho de acordo com a seguinte expressão:

$$\gamma_{fq} \cdot Q_{\min, vento} + \gamma_{fg} (G + G_{\min, des}) \leq f_{tk} / \gamma_m$$

$$\gamma_{fg} = 0,9;$$

$$\gamma_{fq} = 1,4;$$

$f_{tk}$ : resistência à tração na flexão (Tabela 6.2.1).

## DIMENSIONAMENTO

### TENSÃO MÍNIMA DEVIDO À FLEXO-COMPRESSÃO

---

Substituindo os coeficiente na expressão, temos:

$$1,4 \cdot Q_{vento} + 0,9 \cdot (G + G_{min,des}) \leq \sigma_{tk}/2,0$$

Ao utilizar a sub-estrutura **S1 na direção 0°** como exemplo, obtém-se a tensão mínima abaixo, onde o sinal negativo no resultado representa ocorrência de tração.

$$1,4 \cdot 0,0164 + 0,9 \cdot (-0,0301 + 0,0010) \leq \sigma_{tk}/2,0$$

$$\sigma_{tk} \geq -0,0065 \text{ kN/cm}^2 = \boxed{-0,065 \text{ MPa}}$$

## DIMENSIONAMENTO

### TENSÃO MÍNIMA DEVIDO À FLEXO-COMPRESSÃO



**Se** for empregada uma argamassa com resistência média à compressão na faixa de **3,5 a 7,0 MPa**, a própria resistência da argamassa é capaz de resistir ao esforço de tração e **não há necessidade** de armadura transversal.

$$\sigma_{tk} \leq f_{tk}$$

$$0,065 \text{ MPa} \leq 0,20 \text{ MPa} \quad \text{OK!!}$$

Tabela 6.2.1 - Valores característicos da resistência à tração na flexão  $f_{tk}$ .

Direção da tração	Resistência média à compressão da argamassa (MPa)		
	1,5 a 3,4 <sup>a</sup>	3,5 a 7,0 <sup>b</sup>	Acima de 7,0 <sup>c</sup>
Normal à fiada	0,10	0,20	0,25
Paralela à fiada	0,20	0,40	0,50
NOTA Valores relativos à área bruta			
<sup>a</sup> Classes P2 e P3, conforme ABNT NBR 13281.			
<sup>b</sup> Classes P2 e P3, conforme ABNT NBR 13281.			
<sup>c</sup> Classes P6, conforme ABNT NBR 13281.			

# DIMENSIONAMENTO

## TENSÃO MÍNIMA DEVIDO À FLEXO-COMPRESSÃO



**Tabela 6.2.2 - Dimensionamento para a direção 0°.**

Direção 0°			Tensões Permanentes (G)			Tensões Acidentais (Q)			Verificação			Dimensionamento à compressão			
			Normal	Desaprumo		Normal	Vento 0°		Compressão		Tração	Parede	Prisma	Bloco	Bloco adotado
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$\sigma_{N,perm,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{des,máx,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{des,mín,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{N,acid,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{v,máx,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{v,mín,k}$ (kN/cm²)	$f_{k,1}$ (kN/cm²)	$f_{k,2}$ (kN/cm²)	$f_{tk}$ (kN/cm²)	$f_k$ (kN/cm²)	$f_{pk}$ (kN/cm²)	$f_{bk}$ (kN/cm²)	(MPa)
1	S1	PX1 e PY1	0,0301	0,0025	-0,0010	0,0041	0,0391	-0,0164	0,181	0,158	0,0064	0,181	0,258	0,323	4,0
1	S2	PX4 e PY1	0,0301	0,0048	-0,0027	0,0041	0,0758	-0,0422	0,253	0,203	-0,0686	0,253	0,362	0,453	4,0
2	S3	PX2 e PY2	0,0410	0,0034	-0,0033	0,0092	0,0533	-0,0522	0,251	0,226	-0,0784	0,251	0,359	0,449	4,0
2	S4	PX5 e PY2	0,0410	0,0049	-0,0028	0,0092	0,0775	-0,0436	0,300	0,256	-0,0532	0,300	0,428	0,535	4,0
3	S5	PX3 e PY3	0,0320	0,0012	-0,0027	0,0049	0,0187	-0,0431	0,148	0,142	-0,0678	0,148	0,211	0,264	4,0

**Tabela 6.2.3 - Dimensionamento para a direção 180°.**

Direção 180°			Tensões Permanentes (G)			Tensões Acidentais (Q)			Verificação			Dimensionamento à compressão			
			Normal	Desaprumo		Normal	Vento 180°		Compressão		Tração	Parede	Prisma	Bloco	Bloco adotado
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$\sigma_{N,perm,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{des,máx,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{des,mín,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{N,acid,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{v,máx,k}$ (kN/cm²)	$\sigma_{v,mín,k}$ (kN/cm²)	$f_{k,1}$ (kN/cm²)	$f_{k,2}$ (kN/cm²)	$f_{tk}$ (kN/cm²)	$f_k$ (kN/cm²)	$f_{pk}$ (kN/cm²)	$f_{bk}$ (kN/cm²)	(MPa)
1	S1	PX1 e PY1	0,0301	0,0010	-0,0025	0,0041	0,0164	-0,0391	0,136	0,130	-0,0598	0,136	0,194	0,242	4,0
1	S2	PX4 e PY1	0,0301	0,0027	-0,0048	0,0041	0,0422	-0,0758	0,187	0,162	-0,1666	0,187	0,267	0,334	4,0
2	S3	PX2 e PY2	0,0410	0,0033	-0,0034	0,0092	0,0522	-0,0533	0,249	0,225	-0,0815	0,249	0,356	0,445	4,0
2	S4	PX5 e PY2	0,0410	0,0028	-0,0049	0,0092	0,0436	-0,0775	0,232	0,214	-0,1521	0,232	0,332	0,415	4,0
3	S5	PX3 e PY3	0,0320	0,0027	-0,0012	0,0049	0,0431	-0,0187	0,196	0,172	0,0031	0,196	0,280	0,350	4,0

# DIMENSIONAMENTO

## TENSÃO MÍNIMA DEVIDO À FLEXO-COMPRESSÃO



**Tabela 6.2.4 - Dimensionamento para a direção 90°.**

Direção 90°			Tensões Permanentes (G)			Tensões Acidentais (Q)			Verificação			Dimensionamento à compressão			
			Normal	Desaprumo		Normal	Vento 90°		Compressão		Tração	Parede	Prisma	Bloco	Bloco adotado
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$\sigma_{N,perm,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{des,máx,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{des,mín,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{N,acid,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,máx,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,mín,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{k,1}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{k,2}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{tk}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_k$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{pk}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{bk}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
1	S1	PX1, PX4 e PY1	0,0301	0,0008	-0,0008	0,0041	0,0289	-0,0299	0,159	0,144	-0,0310	0,159	0,226	0,283	4,0
2	S2	PX2, PX5 e PY2	0,0410	0,0009	-0,0007	0,0092	0,0326	-0,0263	0,208	0,199	-0,0011	0,208	0,297	0,372	4,0
3	S3	PX3 e PY3	0,0320	0,0009	-0,0007	0,0049	0,0345	-0,0243	0,177	0,159	-0,0116	0,177	0,252	0,315	4,0

**Tabela 6.2.5 - Dimensionamento para a direção 270°.**

Direção 270°			Tensões Permanentes (G)			Tensões Acidentais (Q)			Verificação			Dimensionamento à compressão			
			Normal	Desaprumo		Normal	Vento 270°		Compressão		Tração	Parede	Prisma	Bloco	Bloco adotado
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$\sigma_{N,perm,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{des,máx,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{des,mín,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{N,acid,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,máx,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{v,mín,k}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{k,1}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{k,2}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{tk}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_k$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{pk}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{bk}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
1	S1	PX1, PX4 e PY1	0,0301	0,0008	-0,0008	0,0041	0,0299	-0,0289	0,160	0,145	-0,0281	0,160	0,229	0,286	4,0
2	S2	PX2, PX5 e PY2	0,0410	0,0007	-0,0009	0,0092	0,0263	-0,0326	0,196	0,191	-0,0190	0,196	0,280	0,350	4,0
3	S3	PX3 e PY3	0,0320	0,0007	-0,0009	0,0049	0,0243	-0,0345	0,157	0,147	-0,0407	0,157	0,224	0,281	4,0

## DIMENSIONAMENTO

### PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA

---

A **maioria** das sub-estruturas apresentada na Tabela 6.2.2 à Tabela 6.2.5 requerem blocos com resistência  $f_{bk}$  **menor que 4,0 MPa**.

Por este motivo, optou-se por utilizar blocos de resistência 4,0 MPa e grauteia-se os pontos onde este valor é excedido.

O máximo valor de compressão, onde  $f_{bk}$  é igual a **5,35 MPa**, ocorre na sub-estrutura **S4 para o caso de vento 0°**.

- Sub-estrutura S2 - Caso de vento 0°

- a) Tensão limite do prisma

$$f_{pk,lim} = 0,8 \times f_{bk}$$

$$f_{pk,lim} = 0,8 \times 0,4 = 0,32 \text{ kN/cm}^2$$

No trecho onde a tensão do prisma exceder **0,32 kN/cm²** deve ser adicionado **graute** com a finalidade de **aumentar a resistência a compressão**.

## DIMENSIONAMENTO

### PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA



O valor das tensões que agem na sub-estrutura é obtido através das **duas combinações** de tensão máxima devido à flexo-compressão, apresentadas no item 6.1.

Para cada uma das combinações se elabora um **diagrama de distribuição** das tensões conforme ilustrado na Figura 6.3.1.

$$\begin{aligned} \text{i.} \quad & \frac{0,7 \cdot Q_{\text{acidental}} + 1,4 \cdot G}{R} + \frac{1,4 \cdot Q_{\text{máx,vento}} + 1,4 \cdot G_{\text{máx,des}}}{1,5} \leq f_{k,1} / 2,0 \\ \text{ii.} \quad & \frac{1,4 \cdot Q_{\text{acidental}} + 1,4 \cdot G}{R} + \frac{0,84 \cdot Q_{\text{máx,vento}} + 1,4 \cdot G_{\text{máx,des}}}{1,5} \leq f_{k,2} / 2,0 \end{aligned} \quad f_k = 0,7 \times f_{pk}$$

Simplificando,

$$\begin{aligned} \text{i.} \quad & \frac{1,4 \cdot Q_{\text{acidental}} + 2,8 \cdot G}{R} + 1,867 \cdot Q_{\text{máx,vento}} + 1,867 \cdot G_{\text{máx,des}} \leq 0,7 \cdot f_{pk,1} \\ \text{ii.} \quad & \frac{2,8 \cdot Q_{\text{acidental}} + 2,8 \cdot G}{R} + 1,12 \cdot Q_{\text{máx,vento}} + 1,867 \cdot G_{\text{máx,des}} \leq 0,7 \cdot f_{pk,2} \end{aligned}$$

# DIMENSIONAMENTO

## PONTOS DE GRAUEAMENTO NA ALVENARIA

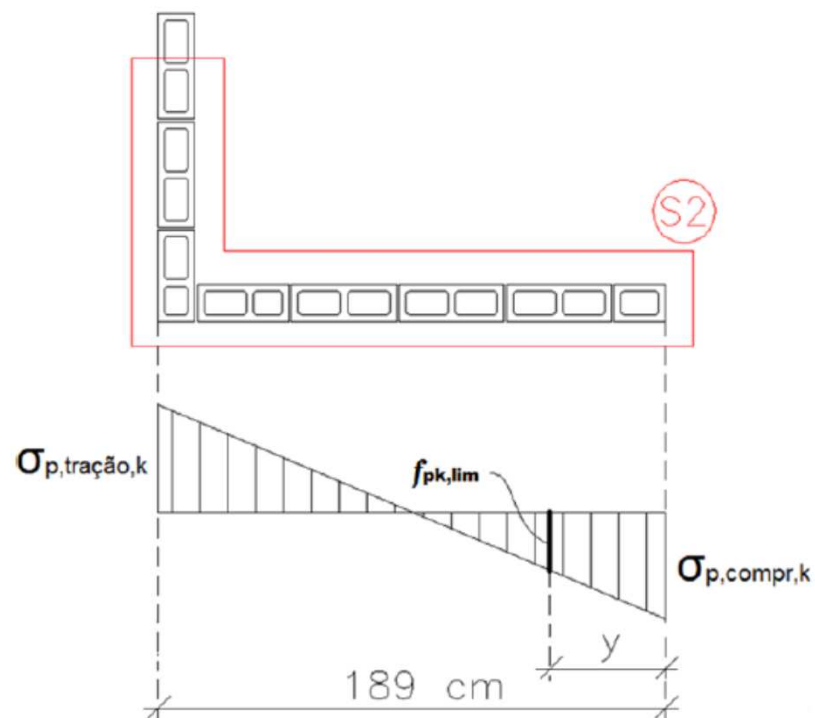


Figura 6.3.1 - Modelo suposto de tensões atuantes na sub-estrutura: caso de vento 0°.

$\sigma_{p,tração,k}$		$\sigma_{p,compr,k}$	
Permanente	Acidental	Permanente	Acidental
$\sigma_{N,perm,k} = 0,0301 \frac{kN}{cm^2}$	$\sigma_{v,min,k} = -0,0422 \frac{kN}{cm^2}$	$\sigma_{N,perm,k} = 0,0301 \frac{kN}{cm^2}$	$\sigma_{v,máx,k} = 0,0758 \frac{kN}{cm^2}$
$\sigma_{des,min,k} = -0,0027 \frac{kN}{cm^2}$	$\sigma_{N,acid,k} = 0,0041 \frac{kN}{cm^2}$	$\sigma_{des,máx,k} = 0,0048 \frac{kN}{cm^2}$	$\sigma_{N,acid,k} = 0,0041 \frac{kN}{cm^2}$

# DIMENSIONAMENTO

## PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA

### Combinação i.

$\sigma_{p,tração,k}$ :

$$\frac{1,4 \cdot \sigma_{N,acid,k} + 2,8 \cdot \sigma_{N,perm,k}}{R} + 1,867 \cdot \sigma_{v,min,k} + 1,867 \cdot \sigma_{des,min,k}$$

$$\leq 0,7 \cdot \sigma_{p,tração,k1}$$

$$\frac{1,4 \cdot 0,0041 + 2,8 \cdot 0,0301}{0,875} - 1,867 \cdot 0,0422 - 1,867 \cdot 0,0027 \leq 0,7 \cdot \sigma_{p,tração,k1}$$

$$\sigma_{p,tração,k1} = 0,027 \text{ kN/cm}^2$$

$\sigma_{p,compr,k}$ :

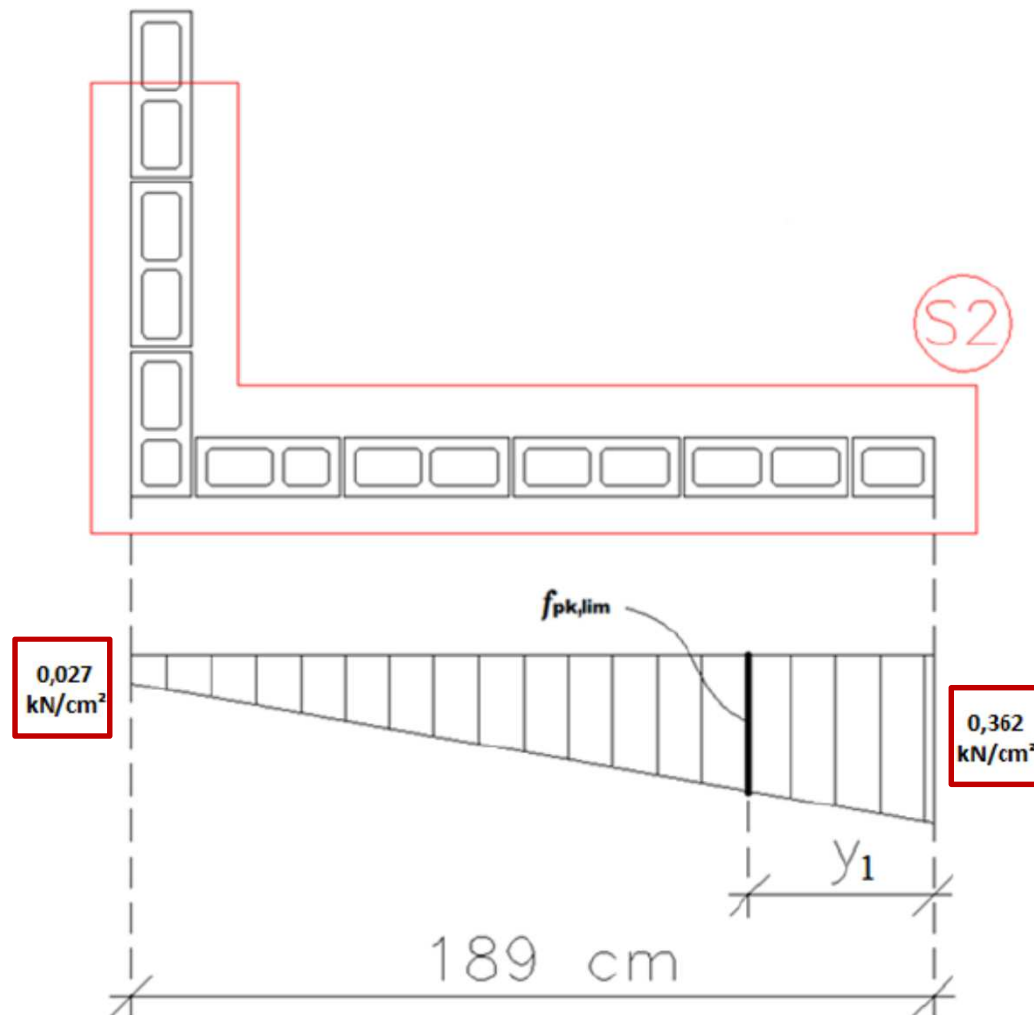
$$\frac{1,4 \cdot \sigma_{N,acid,k} + 2,8 \cdot \sigma_{N,perm,k}}{R} + 1,867 \cdot \sigma_{v,min,k} + 1,867 \cdot \sigma_{des,min,k} \leq 0,7 \cdot \sigma_{p,compr,k1}$$

$$\frac{1,4 \cdot 0,0041 + 2,8 \cdot 0,0301}{0,875} + 1,867 \cdot 0,0758 + 1,867 \cdot 0,0048 \leq 0,7 \cdot \sigma_{p,compr,k1}$$

$$\sigma_{p,compr,k1} = 0,362 \text{ kN/cm}^2$$

# DIMENSIONAMENTO

## PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA



Trecho grauteado  $y_1$ :

$$\frac{(0,362 - 0,027)}{189} = \frac{(f_{pk,lim} - 0,027)}{189 - y_1}$$

$$\frac{(0,362 - 0,027)}{189} = \frac{(0,32 - 0,027)}{189 - y_1}$$

$$y_1 = 23,7 \text{ cm}$$

Figura 6.3.2 - Diagrama de tensões proveniente da combinação i.

# DIMENSIONAMENTO

## PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA

### Combinação ii.

$\sigma_{p,tração,k}$ :

$$\frac{2,8 \cdot \sigma_{N,acid,k} + 2,8 \cdot \sigma_{N,perm,k}}{R} + 1,12 \cdot \sigma_{v,min,k} + 1,867 \cdot \sigma_{des,min,k} \leq 0,7 \cdot \sigma_{p,tração,k2}$$

$$\frac{2,8 \cdot 0,0041 + 2,8 \cdot 0,0301}{0,875} - 1,12 \cdot 0,0422 - 1,867 \cdot 0,0027 \leq 0,7 \cdot \sigma_{p,tração,k2}$$

$$\sigma_{p,tração,k2} = 0,082 \text{ kN/cm}^2$$

$\sigma_{p,compr,k}$ :

$$\frac{2,8 \cdot \sigma_{N,acid,k} + 2,8 \cdot \sigma_{N,perm,k}}{R} + 1,12 \cdot \sigma_{v,min,k} + 1,867 \cdot \sigma_{des,min,k} \leq 0,7 \cdot \sigma_{p,compr,k2}$$

$$\frac{2,8 \cdot 0,0041 + 2,8 \cdot 0,0301}{0,875} + 1,12 \cdot 0,0758 + 1,867 \cdot 0,0048 \leq 0,7 \cdot \sigma_{p,compr,k2}$$

$$\sigma_{p,compr,k2} = 0,290 \text{ kN/cm}^2$$

# DIMENSIONAMENTO

## PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA

---



Trecho grauteado  $y_2$ :

$$\frac{(0,290 - 0,082)}{189} = \frac{(f_{pk,lim} - 0,082)}{189 - y_1}$$
$$\frac{(0,290 - 0,082)}{189} = \frac{(0,32 - 0,082)}{189 - y_1}$$
$$y_2 = \boxed{-27 \text{ cm}}$$

## DIMENSIONAMENTO

### PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA

Como a **combinação i** é a única que resulta em tensão superior ao limite do prisma:

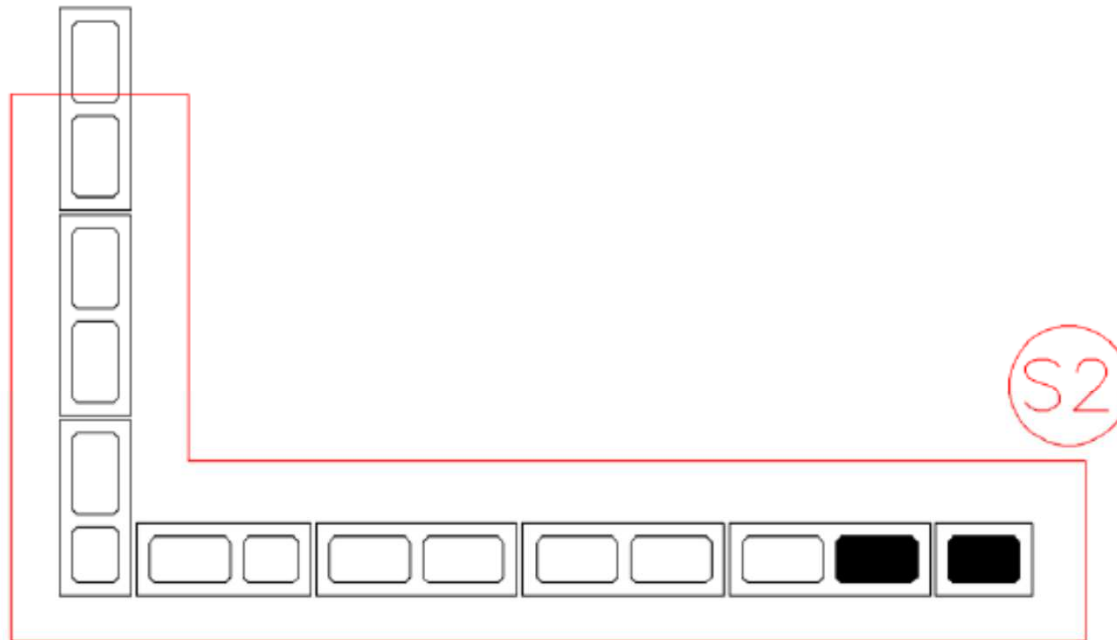


Figura 6.3.3 - Pontos necessários de graute devido à compressão máxima: caso de vento 0°.

# DIMENSIONAMENTO

## PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA

Tabela 6.3.1 - Comprimento do trecho grauteado: caso de vento 0°.

Direção 0°			Alma	Combinação i			Combinação ii			Comprimento grauteado
Grupo	Sub-estrutur	Paredes		mínima	máxima	Graute	mínima	máxima	Graute	
			$L_{alma}$ (cm)	$\sigma_{p,tração,k1}$ (kN/cm²)	$\sigma_{p,compr,k1}$ (kN/cm²)	$Y_1$ (cm)	$\sigma_{p,tração,k2}$ (kN/cm²)	$\sigma_{p,compr,k2}$ (kN/cm²)	$Y_2$ (cm)	$Y$ (cm)
1	S1	PX1 e PY1	89	0,101	0,258	-34,9	0,128	0,226	-85,2	0,0
1	S2	PX4 e PY1	189	0,028	0,362	23,8	0,082	0,291	-26,5	23,8
2	S3	PX2 e PY2	169	0,060	0,359	22,1	0,137	0,323	3,0	22,1
2	S4	PX5 e PY2	204	0,085	0,428	64,1	0,152	0,366	44,0	64,1
3	S5	PX3 e PY3	99	0,036	0,211	-61,7	0,093	0,202	-106,7	0,0

Tabela 6.3.2 - Comprimento do trecho grauteado: caso de vento 180°.

Direção 180°			Alma	Combinação i			Combinação ii			Comprimento grauteado
Grupo	Sub-estrutur	Paredes		mínima	máxima	Graute	mínima	máxima	Graute	
			$L_{alma}$ (cm)	$\sigma_{p,tração,k1}$ (kN/cm²)	$\sigma_{p,compr,k1}$ (kN/cm²)	$Y_1$ (cm)	$\sigma_{p,tração,k2}$ (kN/cm²)	$\sigma_{p,compr,k2}$ (kN/cm²)	$Y_2$ (cm)	$Y$ (cm)
1	S1	PX1 e PY1	89	0,036	0,194	-71,3	0,087	0,186	-121,7	0,0
1	S2	PX4 e PY1	189	-0,068	0,267	-30,1	0,023	0,231	-80,4	0,0
2	S3	PX2 e PY2	169	0,057	0,356	20,5	0,135	0,321	1,4	20,5
2	S4	PX5 e PY2	204	-0,012	0,332	7,0	0,092	0,306	-13,2	7,0
3	S5	PX3 e PY3	99	0,105	0,280	-22,7	0,136	0,245	-67,7	0,0

# DIMENSIONAMENTO

## PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA

**Tabela 6.3.3 - Comprimento do trecho grauteado: caso de vento 90°.**

Direção 90°			Alma	Combinação i			Combinação ii			Comprimento grauteado
Grupo	Sub-estrutur	Paredes		mínima	máxima	Graute	mínima	máxima	Graute	
			$L_{alma}$ (cm)	$\sigma_{p,tração,k1}$ (kN/cm²)	$\sigma_{p,compr,k1}$ (kN/cm²)	$Y_1$ (cm)	$\sigma_{p,tração,k2}$ (kN/cm²)	$\sigma_{p,compr,k2}$ (kN/cm²)	$Y_2$ (cm)	$y$ (cm)
1	S1	PX1, PX4 e PY1	349	0,065	0,226	-202,5	0,107	0,205	-407,6	0,0
2	S2	PX2, PX5 e PY2	349	0,136	0,297	-49,0	0,185	0,284	-129,1	0,0
3	S3	PX3 e PY3	349	0,091	0,252	-146,5	0,128	0,227	-330,4	0,0

**Tabela 6.3.4 - Comprimento do trecho grauteado: caso de vento 270°.**

Direção 270°			Alma	Combinação i			Combinação ii			Comprimento grauteado
Grupo	Sub-estrutur	Paredes		mínima	máxima	Graute	mínima	máxima	Graute	
			$L_{alma}$ (cm)	$\sigma_{p,tração,k1}$ (kN/cm²)	$\sigma_{p,compr,k1}$ (kN/cm²)	$Y_1$ (cm)	$\sigma_{p,tração,k2}$ (kN/cm²)	$\sigma_{p,compr,k2}$ (kN/cm²)	$Y_2$ (cm)	$y$ (cm)
1	S1	PX1, PX4 e PY1	349	0,068	0,229	-196,6	0,108	0,207	-401,6	0,0
2	S2	PX2, PX5 e PY2	349	0,119	0,280	-86,2	0,175	0,273	-166,3	0,0
3	S3	PX3 e PY3	349	0,063	0,224	-207,0	0,111	0,210	-390,8	0,0

## DIMENSIONAMENTO

### PONTOS DE GRAUTEAMENTO NA ALVENARIA

Percebe-se neste edifício que o graute construtivo nos cantos de paredes, e aberturas de portas e janelas, são suficientes para resistir às tensões máximas de compressão, exceto nos trechos de parede **PX4 e PX5** das subestruturas **S2 e S4** respectivamente.

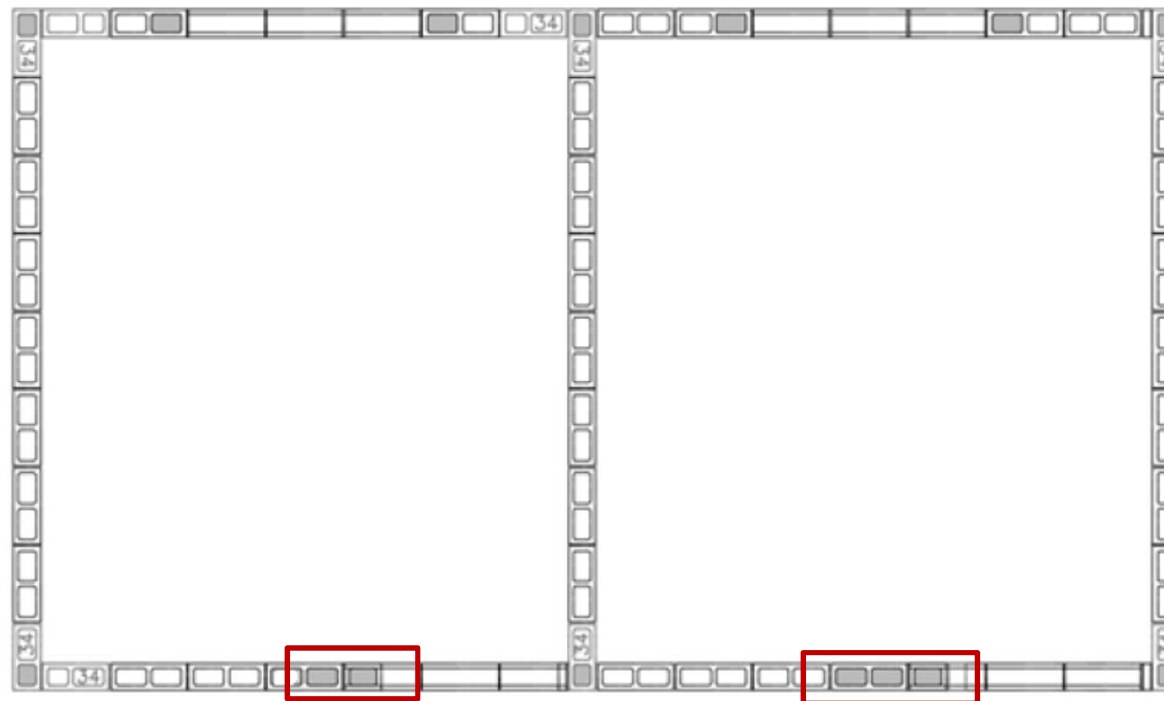


Figura 6.3.4 - Pontos de graute devido à compressão máxima.

## DIMENSIONAMENTO

### ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

---

Em algumas sub-estruturas podem ocorrer tensões de tração superiores ao resistido pela argamassa e, portanto, há necessidade de **acrescentar armadura vertical para combate à tração**.

No projeto de elementos com alvenaria armada submetidos a tensões normais admitem-se as seguintes **hipóteses**:

- As tensões são proporcionais às deformações;
- As seções permanecem planas depois da deformação;
- Há aderência perfeita entre o aço e a alvenaria;
- Resistência da alvenaria à tração é nula;
- Máximo encurtamento da alvenaria se limita em 0,35%;
- Máximo alongamento do aço limitado em 1,0%;
- Tensão no aço limitada a 50% da tensão de escoamento.

## DIMENSIONAMENTO

### ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

Na Tabela 6.2.2 vimos que a sub-estrutura **S2** está sujeita a um esforço de tração superior ao resistido pela argamassa e, portanto, devemos calcular a armadura vertical necessária para esta situação.

a) Subestrutura S2 - Caso de vento 0°

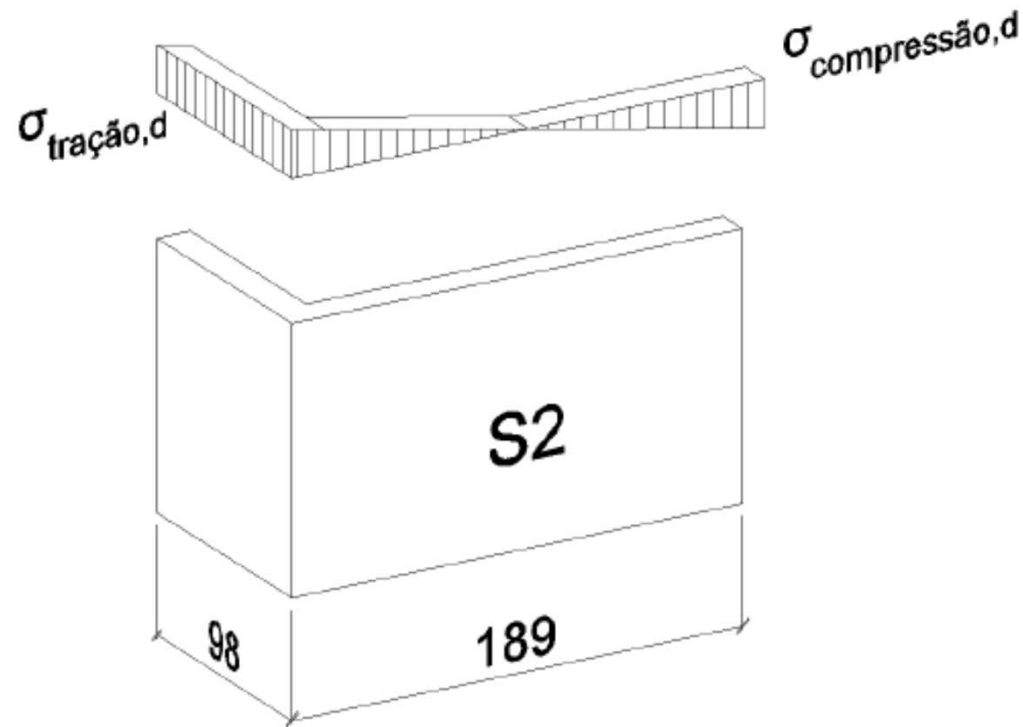


Figura 6.4.1 - Diagrama de tensão normal na sub-estrutura S2: caso de vento 0°.

# DIMENSIONAMENTO

## ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

### b) Tensões atuantes

$\sigma_{tração,d}$		$\sigma_{compressão,d}$	
Permanente	Acidental	Permanente	Acidental
$\sigma_{N,perm,k} = 0,0301 \frac{kN}{cm^2}$  $\sigma_{des,k} = -0,0027 \frac{kN}{cm^2}$	$\sigma_{vento,k} = -0,0422 \frac{kN}{cm^2}$	$\sigma_{N,perm,k} = 0,0301 \frac{kN}{cm^2}$  $\sigma_{des,k} = 0,0048 \frac{kN}{cm^2}$	$\sigma_{vento,k} = 0,0758 \frac{kN}{cm^2}$
$\sigma_{tração,d} = 1,4 \cdot \sigma_{vento,k} + 0,9 \cdot (\sigma_{N,perm,k} + \sigma_{des,k})$ $\sigma_{tração,d} = -1,4 \cdot 0,0422 + 0,9 \cdot (0,0301 - 0,0027)$ $\sigma_{tração,d} = -0,034 \text{ kN/cm}^2$		$\sigma_{compress,d} = 1,4 \cdot \sigma_{vento,k} + 0,9 \cdot (\sigma_{N,perm,k} + \sigma_{des,k})$ $\sigma_{compress,d} = 1,4 \cdot 0,0758 + 0,9 \cdot (0,0301 + 0,0048)$ $\sigma_{compressão,d} = 0,138 \text{ kN/cm}^2$	

# DIMENSIONAMENTO

## ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

c) Posição da linha neutra

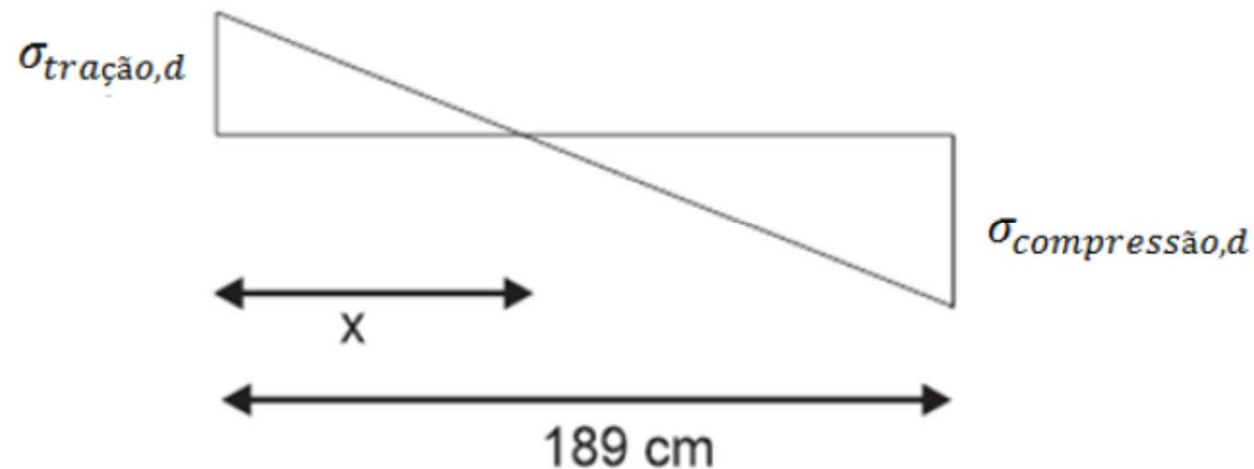


Figura 6.4.2 - Posição da linha neutra na sub-estrutura S2.

$$\frac{x}{\sigma_{tração,d}} = \frac{189 \text{ cm}}{(\sigma_{tração,d} + \sigma_{compressão,d})}$$
$$\frac{x}{0,034} = \frac{189}{0,034 + 0,138}$$
$$x = \boxed{37,7 \text{ cm}}$$

# DIMENSIONAMENTO

## ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

### d) Resultante de tração

Na alma:

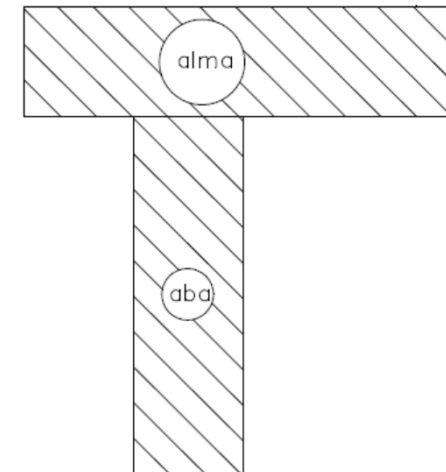
$$A_{alma} = x \times e_{bloco}$$

$$A_{alma} = 37,6 \times 14 = 526,4 \text{ cm}^2$$

- Força resultante:

$$R_{alma,d} = \frac{\sigma_{tração,d} \times A_{alma}}{2}$$

$$R_{alma,d} = \frac{0,034 \times 526,4}{2} = 9,0 \text{ kN}$$



# DIMENSIONAMENTO

## ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

Na aba:

$$A_{aba} = L_{aba} \times e_{bloco}$$

$$A_{aba} = 84 \times 14 = 1176 \text{ cm}^2$$

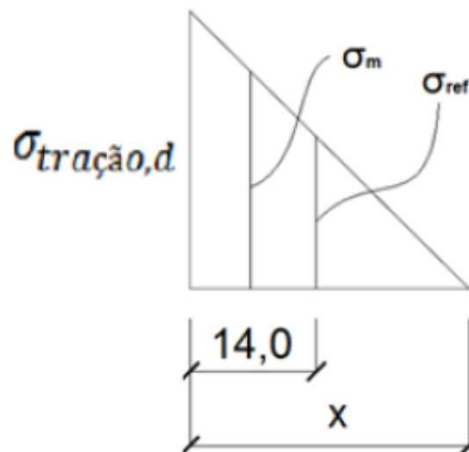


Figura 6.4.3 - Tensão média  $\sigma_m$  na aba.

- Tensão de referência na borda interna da aba: (Figura 6.4.3)

$$\frac{\sigma_{tração,d}}{x} = \frac{\sigma_{ref}}{(x - 14)}$$

$$\frac{0,034}{37,6} = \frac{\sigma_{ref}}{(37,6 - 14)}$$

$$\sigma_{ref} = 0,021 \text{ kN/cm}^2$$

- Tensão média:

$$\sigma_m = \frac{0,034 + 0,021}{2} = 0,028 \text{ kN/cm}^2$$

- Força resultante:

$$R_{aba,d} = A_{aba} \times \sigma_m$$

$$R_{aba,d} = 1176 \times 0,028 = 32,9 \text{ kN}$$

Resultante total de tração:

$$R_{tração,d} = R_{alma,d} + R_{aba,d}$$

$$R_{tração,d} = 9,0 + 32,9 = 41,9 \text{ kN}$$

# DIMENSIONAMENTO

## ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO



e) Área de aço CA-50

$$A_s = \frac{R_{d,tração}}{f_s}$$

$$f_s = 0,5 \times f_{yd};$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s};$$

$$\gamma_s = 1,15.$$

$$A_s = \frac{41,9}{0,5 \times 43,5} = 1,92 \text{ cm}^2$$

## DIMENSIONAMENTO

### ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

---



#### f) Armadura mínima

$$A_{s,min} = 0,10\% \times A_{alma,tracionada}$$

$$A_{s,min} = 0,10\% \times 14 \times 37,6 = 0,53 \text{ cm}^2$$

Os resultados de armadura transversal, para combater os casos de tração superiores ao  $f_{tk}$  resistente da argamassa  $0,020 \text{ kN/cm}^2$ , estão indicados na Tabela 6.4.1 à Tabela 6.4.4.

# DIMENSIONAMENTO

## ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

**Tabela 6.4.1 - Dimensionamento dos trechos com armadura: caso de vento 0°.**

Direção 0°			Verificação	Cálculo das armaduras devido à tração													
			Tração	Compressão	Tração	Linha Neutra		Resultante de tração						Área de aço			Barras
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$f_{tk}$ (kN/cm²)	$\sigma_{compressão,d}$ (kN/cm²)	$\sigma_{tração,d}$ (kN/cm²)	L <sub>alma</sub> (cm)	x (cm)	R <sub>alma</sub> (kN)	$\sigma_{ref}$ (kN/cm²)	$\sigma_m$ (kN/cm²)	Área <sub>aba</sub> (cm²)	R <sub>aba</sub> (kN)	R <sub>total</sub> (kN)	A <sub>s</sub> (cm²)	A <sub>s,min.</sub> (cm²)	A <sub>s,adot.</sub> (cm²)	
1	S1	PX1 e PY1	0,0064														
1	S2	PX4 e PY1	-0,0686	0,1375	-0,0343	189	37,74	-9,07	-0,022	-0,028	1176	-32,87	-41,94	1,93	0,53	1,93	3 $\phi$ 10
2	S3	PX2 e PY2	-0,0784	0,1145	-0,0392	169	43,13	-11,84				0,00	-11,84	0,54	0,60	0,60	1 $\phi$ 10
2	S4	PX5 e PY2	-0,0532	0,1498	-0,0266	204	30,78	-5,73	-0,015	-0,021	1176	-24,18	-29,91	1,38	0,43	1,38	2 $\phi$ 10
3	S5	PX3 e PY3	-0,0678	0,0561	-0,0339	99	37,30	-8,85				0,00	-8,85	0,41	0,52	0,52	1 $\phi$ 10

**Tabela 6.4.2 - Dimensionamento dos trechos com armadura: caso de vento 180°.**

Direção 180º			Verificação	Cálculo das armaduras devido à tração													
				Tração	Compressão	Tração	Linha Neutra		Resultante de tração					Área de aço			Barras
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	f <sub>tk</sub> (kN/cm²)	σ <sub>compressão,d</sub> (kN/cm²)	σ <sub>tração,d</sub> (kN/cm²)	L <sub>alma</sub> (cm)	x (cm)	R <sub>alma</sub> (kN)	σ <sub>ref</sub> (kN/cm²)	σ <sub>m</sub> (kN/cm²)	Área <sub>aba</sub> (cm²)	R <sub>aba</sub> (kN)	R <sub>total</sub> (kN)	A <sub>s</sub> (cm²)	A <sub>s,min.</sub> (cm²)	A <sub>s,adot.</sub> (cm²)	
1	S1	PX1 e PY1	-0,0598	0,0510	-0,0299	89	32,9	-6,88				0	-6,88	0,316	0,46	0,46	1 ϕ 10
1	S2	PX4 e PY1	-0,1666	0,0886	-0,0833	189	91,59	-53,39				0,00	-53,39	2,45	1,28	2,45	3 ϕ 10
2	S3	PX2 e PY2	-0,0815	0,1129	-0,0407	169	44,79	-12,77				0,00	-12,77	0,59	0,63	0,63	1 ϕ 10
2	S4	PX5 e PY2	-0,1521	0,1003	-0,0761	204	87,96	-46,83				0,00	-46,83	2,15	1,23	2,15	3 ϕ 10
3	S5	PX3 e PY3	0,0031														

# DIMENSIONAMENTO

## ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

**Tabela 6.4.3 - Dimensionamento dos trechos com armadura: caso de vento 90°.**

Direção 90º			Verificação	Cálculo das armaduras devido à tração													
			Tração	Compressão	Tração	Linha Neutra		Resultante de tração					Área de aço			Barras	
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	$f_{tk}$ (kN/cm²)	$\sigma_{compressão,d}$ (kN/cm²)	$\sigma_{tração,d}$ (kN/cm²)	$L_{alma}$ (cm)	$x$ (cm)	$R_{alma}$ (kN)	$\sigma_{ref}$ (kN/cm²)	$\sigma_m$ (kN/cm²)	$\bar{A}rea_{aba}$ (cm²)	$R_{aba}$ (kN)	$R_{total}$ (kN)	$A_s$ (cm²)	$A_{s,min.}$ (cm²)		$A_{s,adot.}$ (cm²)
1	S1	PX1, PX4 e PY1	-0,0310	0,068	-0,015	349	64,51	-7,00	-0,012	-0,014	1036	-14,31	-21,31	0,98	0,90	0,98	2 $\phi$ 10
2	S2	PX2, PX5 e PY2	-0,0011														
3	S3	PX3 e PY3	-0,0116														

**Tabela 6.4.4 - Dimensionamento dos trechos com armadura: caso de vento 270°.**

Direção 270º			Verificação	Cálculo das armaduras devido à tração													
			Tração	Compressão	Tração	Linha Neutra		Resultante de tração					Área de aço				
Grupo	Sub-estrutura	Paredes	f <sub>tk</sub> (kN/cm²)	σ <sub>compressão,d</sub> (kN/cm²)	σ <sub>tração,d</sub> (kN/cm²)	L <sub>alma</sub> (cm)	x (cm)	R <sub>alma</sub> (kN)	σ <sub>ref</sub> (kN/cm²)	σ <sub>m</sub> (kN/cm²)	Área <sub>aba</sub> (cm²)	R <sub>aba</sub> (kN)	R <sub>total</sub> (kN)	A <sub>s</sub> (cm²)	A <sub>s,min.</sub> (cm²)	A <sub>s,adot.</sub> (cm²)	Barras
1	S1	PX1, PX4 e PY1	-0,0281	0,070	-0,014	349	58,58	-5,77	-0,011	-0,012	1176	-14,57	-20,34	0,94	0,82	0,94	2 ϕ 10
2	S2	PX2, PX5 e PY2	-0,0190														
3	S3	PX3 e PY3	-0,0407	0,063	-0,020	349	84,7	-12,0	-0,017	-0,019	1176	-21,9	-34,0	1,6	1,19	1,56	2 ϕ 10

# DIMENSIONAMENTO

## ARMADURA VERTICAL DE TRAÇÃO

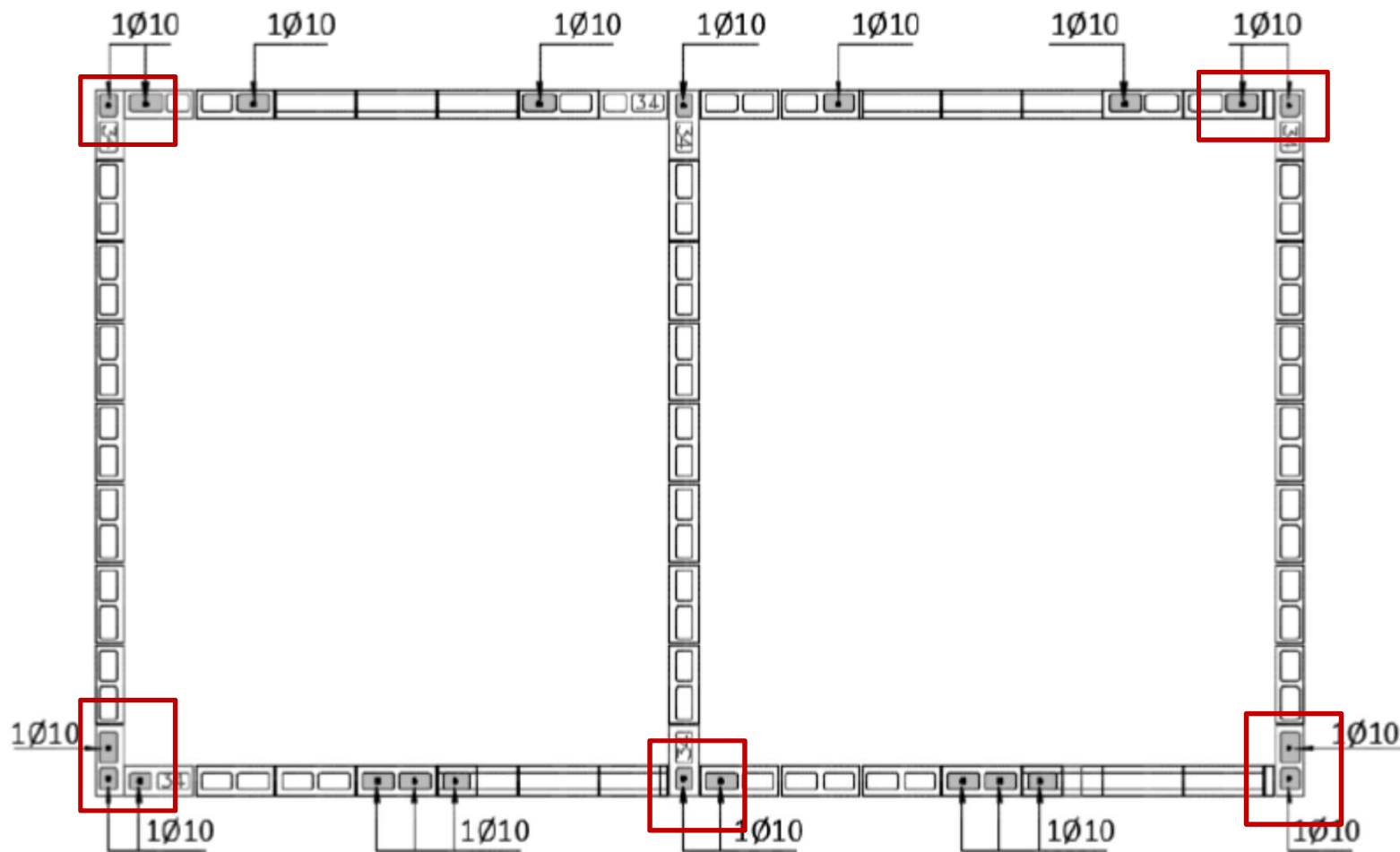


Figura 6.4.4 - Posicionamento das armaduras verticais e graute.