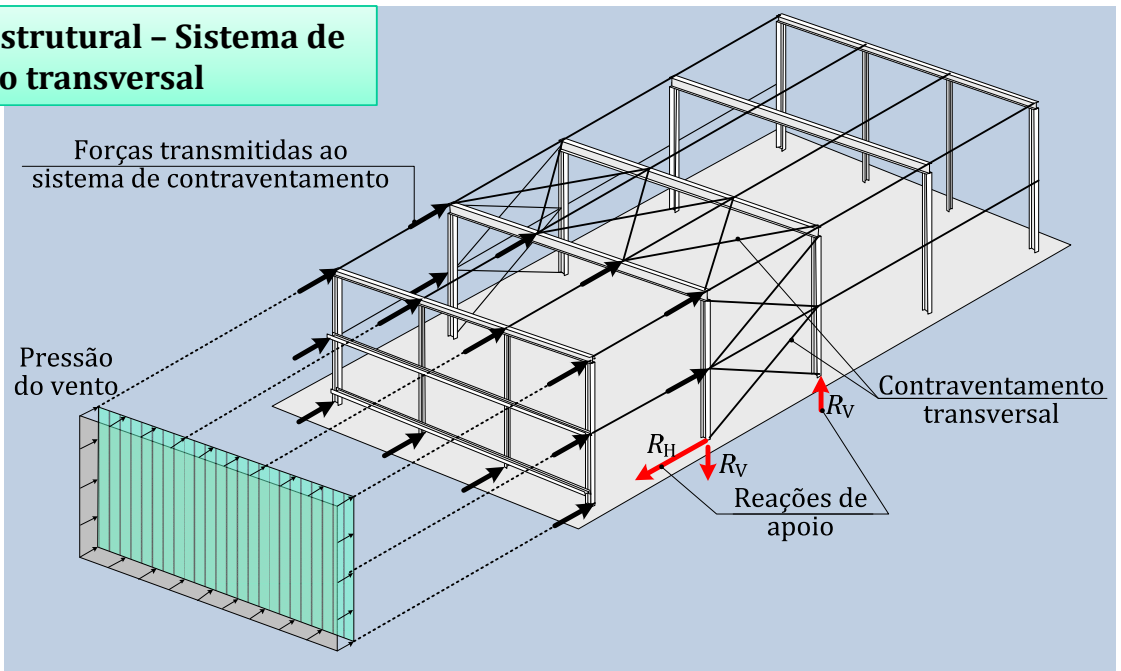
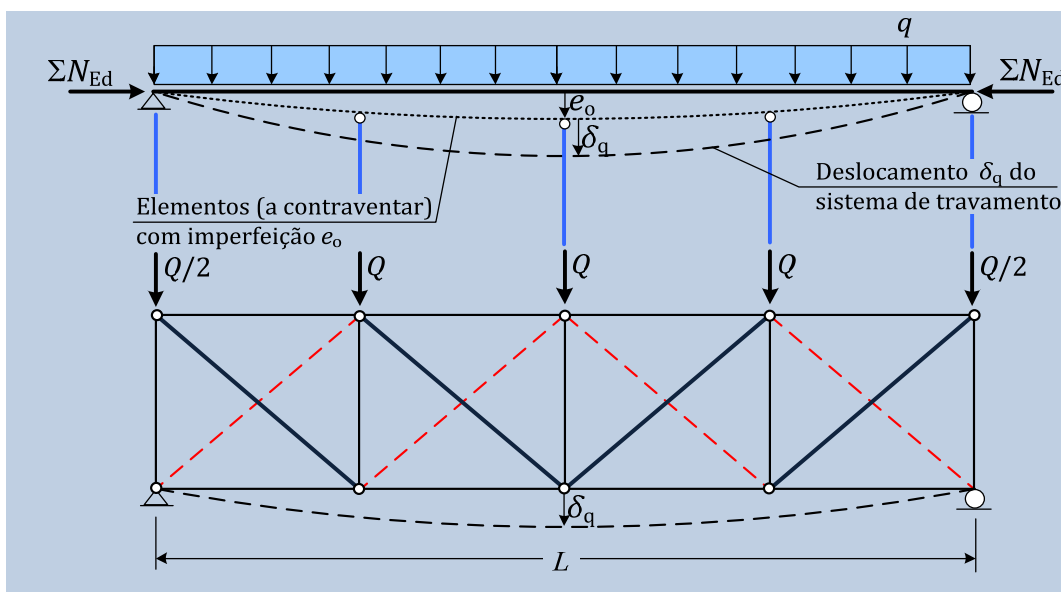


ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

Funcionamento estrutural – Sistema de contraventamento transversal



ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

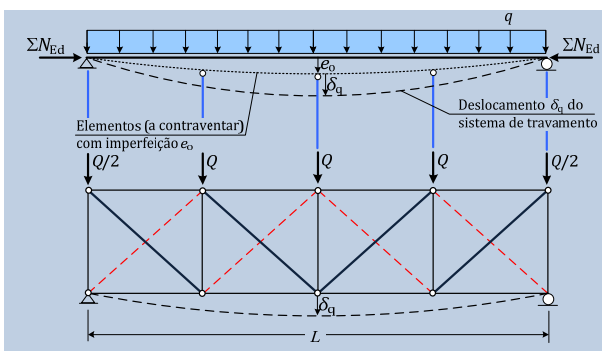


O dimensionamento do sistema de contraventamento transversal deve ter em conta:

- as ações diretamente aplicadas ao sistema de contraventamento,
- as ações horizontais aplicadas aos pórticos que contraventa,
- a ação equivalente ao efeito de estabilização dos pórticos que contraventa

(por exemplo, a estabilização das travessas de pórticos através do contraventamento transversal na cobertura).

ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO



Força equivalente de dimensionamento do sistema de contraventamento

Esta carga equivalente é definida igualando o momento fletor a meio-vão produzindo por esta carga ($= q \cdot L^2/8$) com o momento fletor de 2ª ordem obtido na secção de meio-vão da travessa considerando o esforço normal de compressão atuante e a sua posição deformada, i.e.,

$$\frac{q \cdot L^2}{8} = (\Sigma N_{Ed}) \cdot (e_0 + \delta_q)$$

com:

δ_q – deslocamento do sistema de contraventamento, no seu plano, devido à carga q e a eventuais cargas exteriores (ação do vento, por exemplo), calculado por uma análise de primeira ordem,

e_0 – amplitude de uma imperfeição geométrica equivalente definida para os elementos a contraventar.

EC3-1-1 fornece a amplitude desta imperfeição geométrica é calculada em função do vão do sistema de contraventamento, L , e do número de elementos a contraventar, m , por

$$e_0 = \frac{L}{500} \cdot \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

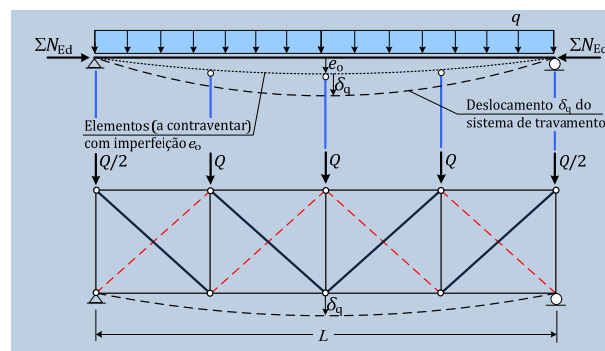
A carga q será então dada por:

$$q = \frac{8 \cdot (\Sigma N_{Ed})}{L^2} \cdot (e_0 + \delta_q) = \varphi \cdot \frac{(\Sigma N_{Ed})}{L}$$

com

$$\varphi = \frac{8 \cdot (e_0 + \delta_q)}{L}$$

ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

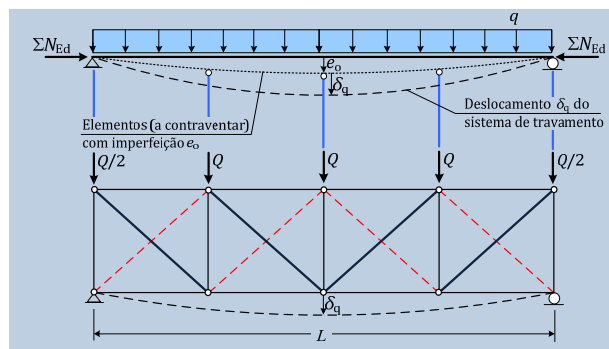


Força equivalente de dimensionamento do sistema de contraventamento

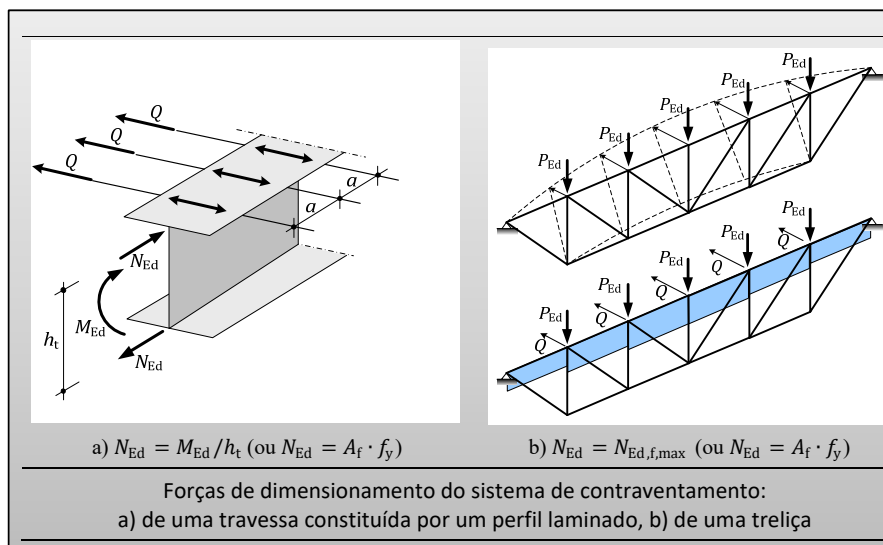
Fator φ em função do número de elementos contraventados (m) e da deformação do sistema de contraventamento (δ_q)				
m	α_m	e_0	φ para $\delta_q = L/1000$	φ para $\delta_q = L/2500$
1	1,00	$L/500$	1/41,7	1/52,1
2	0,866	$L/577$	1/45,8	1/56,0
3	0,816	$L/612$	1/47,5	1/58,6
4	0,791	$L/632$	1/48,4	1/60,1
5	0,775	$L/645$	1/49,0	1/61,0

- Regista-se assim que o fator φ tem valores na ordem de 1/50;
- Logo a força total equivalente que solicita o contraventamento ($q \cdot L$) será dada por uma pequena percentagem da força de compressão instalada nos elementos contraventados;
- Da ordem de $2\% \Sigma N_{Ed}$

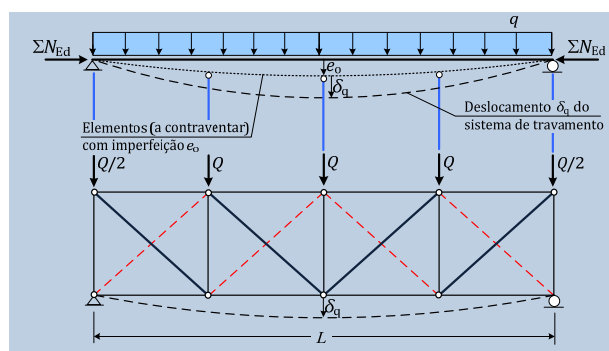
ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO



$$q = \frac{8 \cdot (\Sigma N_{Ed})}{L^2} \cdot (e_0 + \delta_q) = \varphi \cdot \frac{(\Sigma N_{Ed})}{L} \quad \text{com} \quad \varphi = \frac{8 \cdot (e_0 + \delta_q)}{L}$$

Força equivalente de dimensionamento do sistema de contraventamento


ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

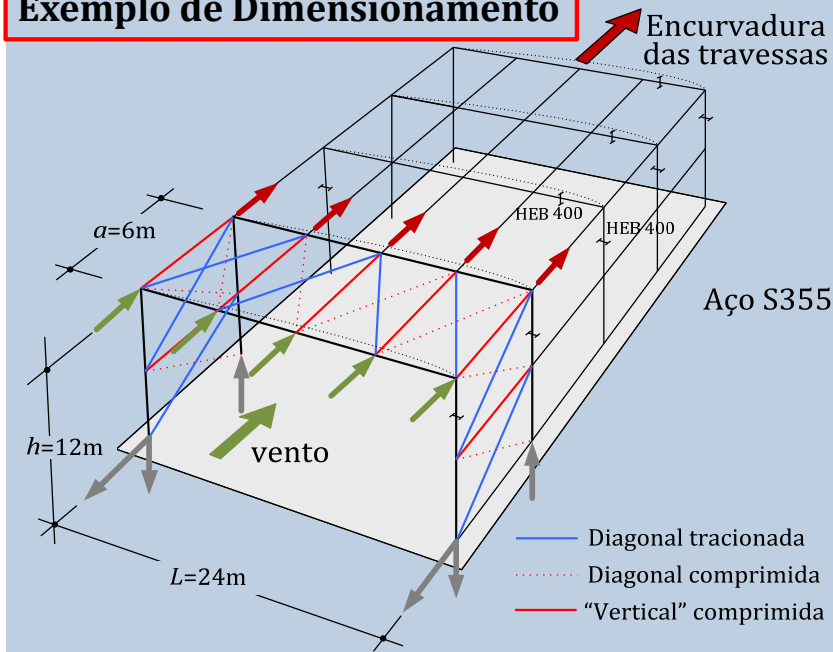

Força equivalente de dimensionamento do sistema de contraventamento

O dimensionamento do sistema de contraventamento da cobertura é um processo iterativo, com a sequência de passos seguinte:

- 1) definir um valor como limite do deslocamento δ_q (por exemplo, $L/2000$);
- 2) determinar a carga uniforme q a aplicar ao sistema de contraventamento, em conjunto, eventualmente, com forças exteriores transmitidas ou diretamente aplicadas ao sistema (em particular, as forças do vento);
- 3) dimensionar os elementos do sistema de contraventamento (as diagonais das treliças) com base nos esforços obtidos e de forma que o deslocamento máximo no sistema seja inferior ao considerado em 1);
- 4) em função da solução obtida, "fechar" o dimensionamento ou retornar a 1), admitindo um valor diferente para o limite do deslocamento (em situações correntes, δ_q toma valores entre $L/1000$ e $L/2500$).

ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

Exemplo de Dimensionamento



1) Força equivalente de dimensionamento

$$\text{Vento} > v_{Ed} \approx 1.2 \text{ kN/m}^2 \cdot h/2 = 7.20 \text{ kN/m}$$

$$\text{Assumir} > \delta_q \leq L/2000$$

$$\text{N}^\circ \text{ pórticos} > m = 5$$

Excentricidade inicial >

$$e_0 = \frac{L}{500} \cdot \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = L/645.5$$

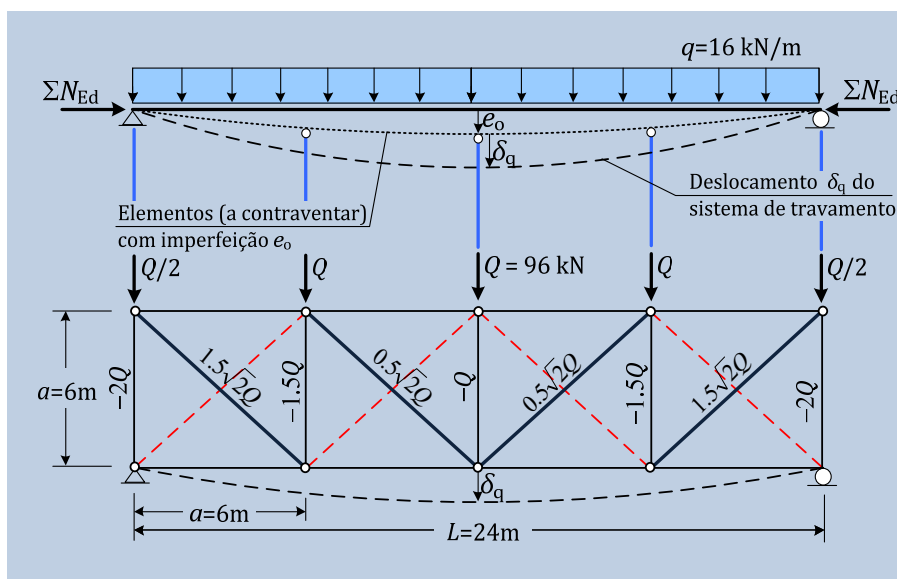
$$\text{Factor} > \varphi = \frac{8 \cdot (e_0 + \delta_q)}{L} = 1.64\% (=1/61)$$

$$\text{Força de compressão máxima nas travessas} > \Sigma N_{Ed} \approx m \cdot A_{\text{banzo}} \cdot f_y = 12\,780 \text{ kN}$$

$$\text{Força equiv.} > q_{Ed} = \varphi \cdot \frac{(\Sigma N_{Ed})}{L} = 8.73 \text{ kN/m}$$

ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

Exemplo de Dimensionamento



2) Esforços de dimensionamento

$$Q = (q_{Ed} + v_{Ed}) \cdot a \approx 16 \text{ kN/m} \cdot L/4 = 96 \text{ kN}$$

3) Dimensionamento das barras

$$\text{Diagonais: } N_{Ed} = 1.5\sqrt{2}Q = 203.6 \text{ kN}$$

$$\text{Area} \geq 203.6/35.5 = 5.74 \text{ cm}^2$$

$$\text{Adoptar SHS } 80 \times 80 \times 3.6 \text{ c/ Area} = 10.9 \text{ cm}^2$$

$$\text{"Verticais": } N_{Ed} = -2Q = -192 \text{ kN}$$

$$\text{Area} \geq N_{Ed} / (\chi \cdot f_y) = 192 / (0.3 \cdot 35.5) = 18 \text{ cm}^2$$

$$\text{Adoptar SHS } 80 \times 80 \times 6.3$$

$$c / \text{Area} = 18.1 \text{ cm}^2 ; i = 2.99 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda} = 600 / 2.99 / 76.4 = 2.63 \rightarrow \chi_a \approx 0.13 \times$$

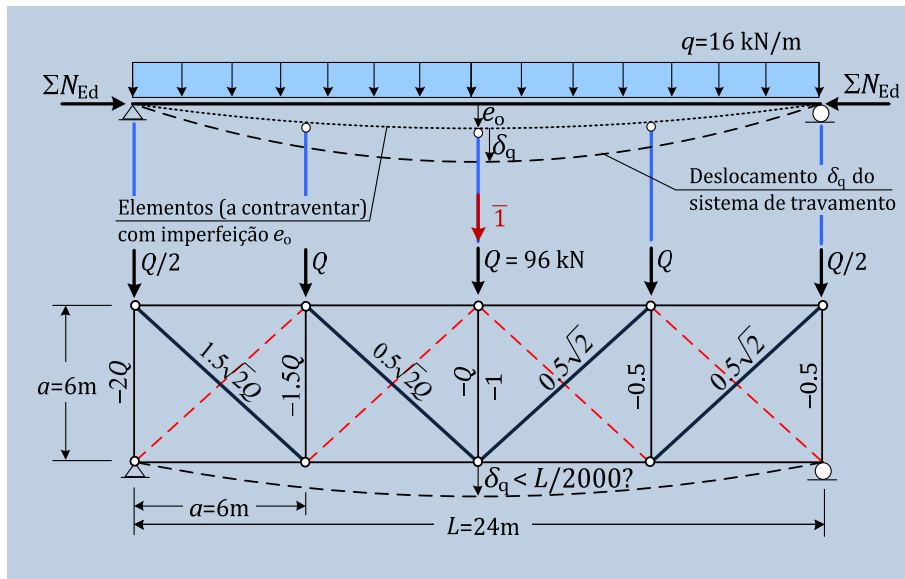
$$\text{Adoptar SHS } 120 \times 120 \times 5.0$$

$$c / \text{Area} = 22.7 \text{ cm}^2 ; i = 4.68 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda} = 600 / 4.68 / 76.4 = 1.68 \rightarrow \chi_a \approx 0.30 \checkmark$$

ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

Exemplo de Dimensionamento



4) Estimativa da deformabilidade

$$\delta_q = \sum(N_{Ed,i} \cdot \bar{N}_i \cdot L_i) / (E \cdot A_i) = \delta_{cordas} + \delta_{diag} + \delta_{vert} \approx 0$$

$$\delta_{diag} = 33.94 Q / (E \cdot A_{diag}) = 14.2 \text{ mm}$$

$$\delta_{vert} = 27.0 Q / (E \cdot A_{vert}) = 5.4 \text{ mm}$$

$$\delta_q = 14.2 + 5.4 = 19.6 \text{ mm} > L/2000 = 12 \text{ mm}$$

Logo não verifica a hipótese inicial !

Solução → Passar as diagonais a perfis SHS 120x120x5.0 - iguais às verticais

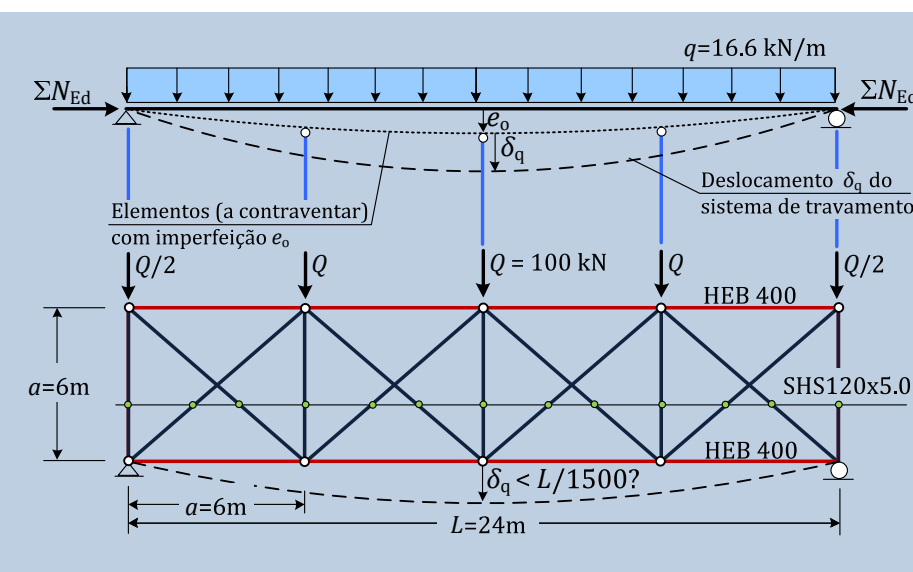
$$\delta_q = 6.8 + 5.4 = 12.2 \text{ mm} > L/2000 = 12 \text{ mm}$$

Ainda não verifica a hipótese inicial !

Então qual a solução ??

ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

Exemplo de Dimensionamento



4) Estimativa da deformabilidade

Melhor Solução → Fixar um maior limite para a deformabilidade do contraventamento, $\delta_q \leq L/1500$ (por exemplo),

mantendo os perfis SHS 120x120x5.0 nas diagonais e "verticais"; vem

$$\varphi = 1.77\%$$

$$q_{Ed} = 9.44 \text{ kN/m}$$

$$Q = (q_{Ed} + v_{Ed}) \cdot a \approx 100 \text{ kN}$$

Diagonais: $N_{Ed} = 212 \text{ kN} \ll N_{Rd} = 806 \text{ kN}$

"Verticais": $N_{Ed} = -200 \text{ kN} < N_{Rd} = -242 \text{ kN}$

$$\delta_{diag} = 33.94 Q / (E \cdot A_{diag}) = 7.1 \text{ mm}$$

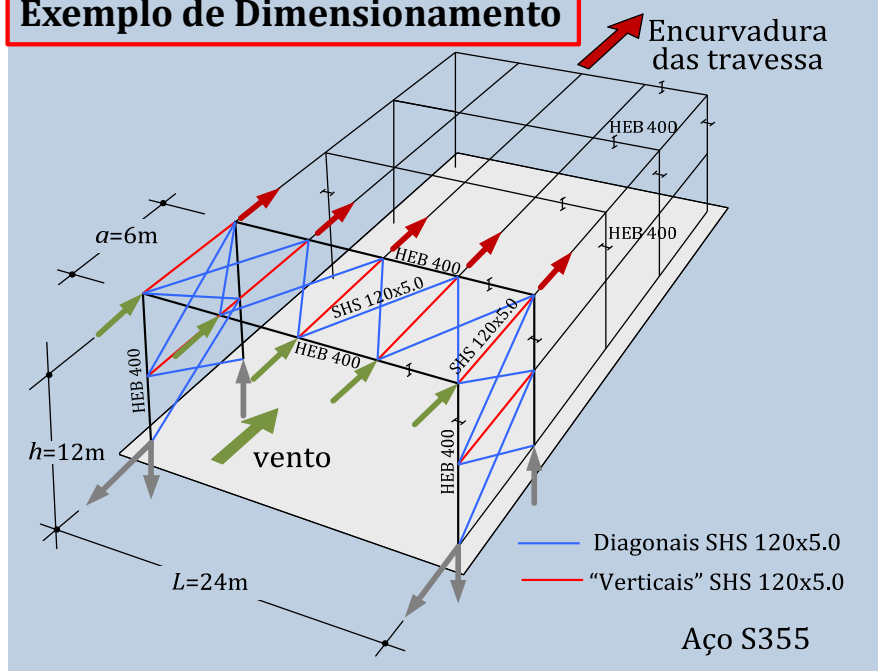
$$\delta_{vert} = 27.0 Q / (E \cdot A_{vert}) = 5.7 \text{ mm}$$

$$\delta_q = 7.1 + 5.7 = 12.8 \text{ mm} < L/1500 = 16 \text{ mm}$$

Logo já verifica a hipótese inicial !

ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

Exemplo de Dimensionamento



4) Solução adoptada

Solução >> Fixar a deformabilidade máxima do contraventamento $\delta_q \leq L/1500$,

e adoptar no sistema de contraventamento os seguintes perfis, em S355:

- ✓ Diagonais >> SHS 120x120x5.0
- ✓ "Verticais" >> SHS 120x120x5.0

ESTRUTURAS DE AÇO – SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

Resumo:

- 1) O sistema de contraventamento longitudinal é útil mas não indispensável (na maioria das estruturas de aço)
- 2) Se for adoptado, deve ter uma rigidez mínima para ser eficiente, contribuindo para reduzir o comprimento de encurvadura dos montantes no plano dos pórticos
- 3) O sistema de contraventamento transversal é indispensável para conduzir as acções horizontais nas fachadas de topo – vento – para as fundações, e para "estabilizar" as travessas e os montantes fora do seu plano
- 4) A força total de dimensionamento deste sistema corresponde a cerca de 2% da compressão instalada nos banzos das travessas – ou da sua resistência plástica
- 5) O requisito de maior importância do sistema de contraventamento transversal é contudo ter rigidez para travar de forma eficaz os deslocamentos dos pórticos fora do seu plano, nas secções correspondentes aos nós do contraventamento