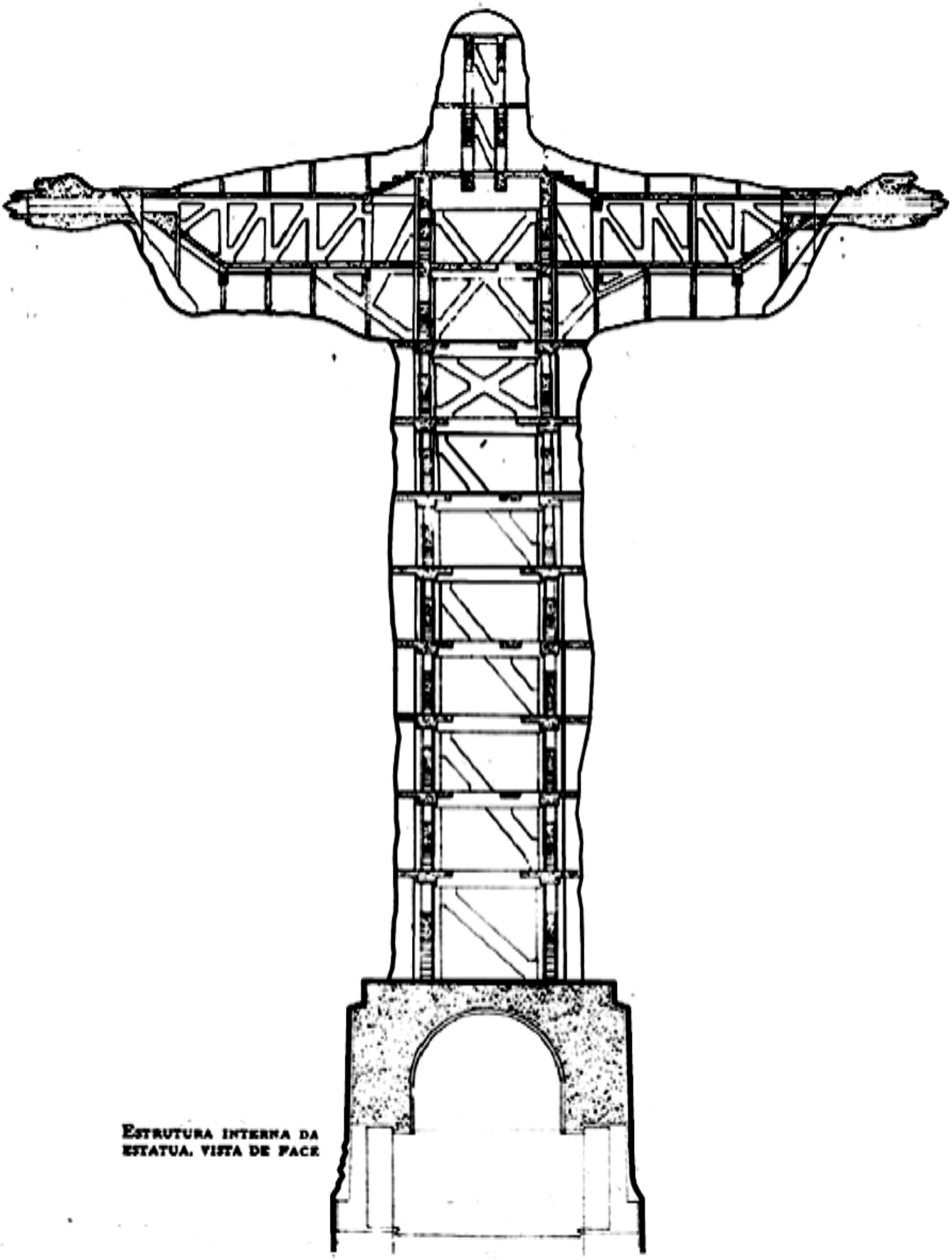
VENTO NO CORCOVADO



ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO - TRELIÇA 3D



ESTRUTURA INTERNA DA ESTATUA. VISTA DE FACE

---

ver : REVISTA "O CRUZEIRO" - 10 OUTUBRO 1931

http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=003581&pasta=ano%20193&pesq=CRISTO%20REDENTOR

Ano 1931\ Edição 0049 (22) - PÁGINA 10

ver : O CONCRETO NO BRASIL - VOL.1 - PROF. A.C. VASCONCELOS - pag. 194

NORMA DE VENTO - NBR 6123

$V_K = V_o\ S_1\ S_2\ S_3$

b) a velocidade básica do vento é multiplicada pelos fatores S_1, S_2 e S_3 para ser obtida a velocidade característica do vento, V_k, para a parte da edificação em consideração, de acordo com 5.2 a 5.5:

$$V_k = V_o\ S_1\ S_2\ S_3$$

c) a velocidade característica do vento permite determinar a pressão dinâmica pela expressão:

$$q = 0{,}613 V_k^2,$$

sendo (unidades SI): q em N/m^2 e V_k em m/s

S1

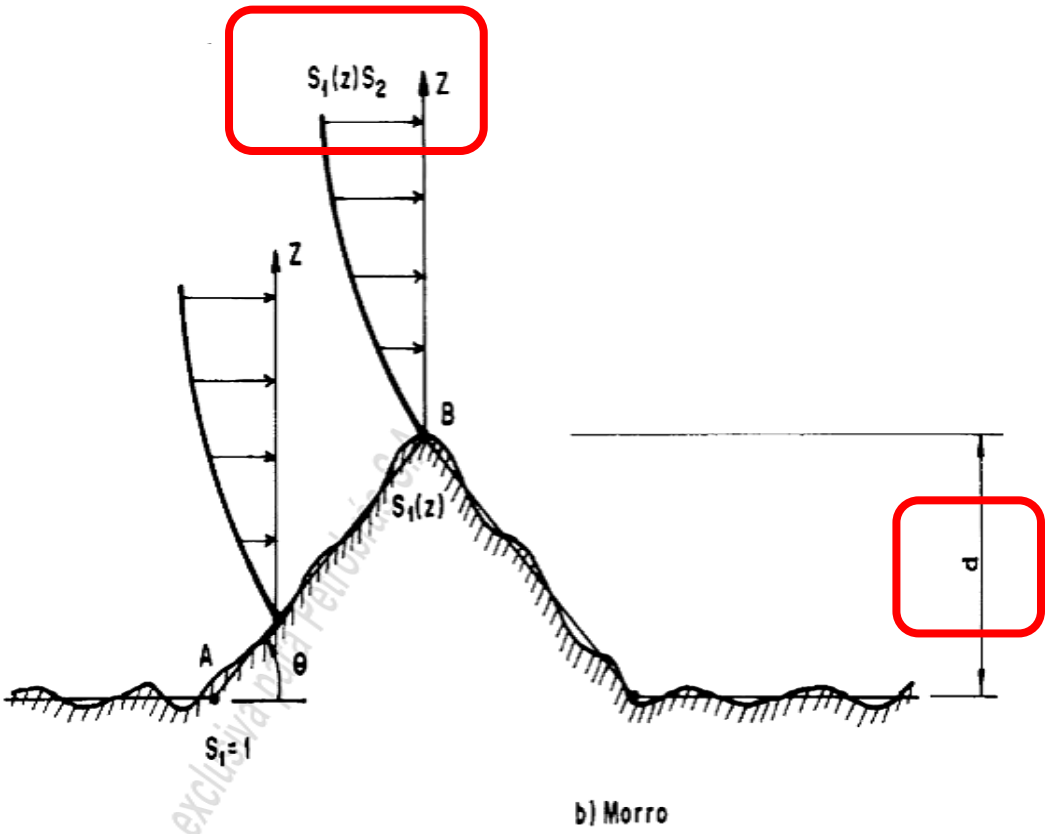


Figura 2 - Fator topográfico S_1 (z)

S1

5.2 Fator topográfico, S_1

O fator topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

a) terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$;

b) taludes e morros:

- taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na Figura 2;

- no ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes): $S_1 = 1,0$;

- no ponto B: [S_1 é uma função $S_1(z)$]:

$\theta \leq 3°$: $S_1(z) = 1,0$

$6° \leq \theta \leq 17°$: $S_1(z) = 1,0 +$

$$+\left(2,5-\frac{z}{d}\right)\text{tg}(\theta-3°)\geq 1$$

$\theta \geq 45°$ $S_1(z) = 1,0 +$

$$+\left(2,5-\frac{z}{d}\right)0,31\geq 1$$

$$\theta \geq 45^{o} \;;\; S_1(z)=1,0+\left(2,5-\frac{z}{d}\right)\times 0,31\geq 1,0$$

[interpolar linearmente para $3° \leq \theta \leq 6° \leq 17° \leq \theta \leq 45°$]

Onde:

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

d = diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro

θ = inclinação média do talude ou encosta do morro

Nota: Entre A e B e entre B e C, o fator S_1 é obtido por interpolação linear.

ALTURA DO CRISTO REDENTOR = 8m (pedestal) + 30m (estatua) = 38 metros

z = 38 m ; d = 700m ; z/d = 0,054

S1(Z) = 1,0 + (2,5 - 0,054) x 0,31 = 1,758

S2

Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Exemplos:

- florestas com árvores altas, de copas isoladas;

- centros de grandes cidades;

- complexos industriais bem desenvolvidos.

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

Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

5.3.3 Altura sobre o terreno

O fator S_2 usado no cálculo da velocidade do vento em uma altura z acima do nível geral do terreno é obtido pela expressão:

$$S_2 = b\, F_r\, (z/10)^p,$$

Tabela 2 - Fator S_2

z (m)	Categoria I			Categoria II			Categoria III			Categoria IV			Categoria V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89

com z = 38 metros

S2 = 0,88

S3

Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

exclusiva para Paraíba S...

S3 = 1,0

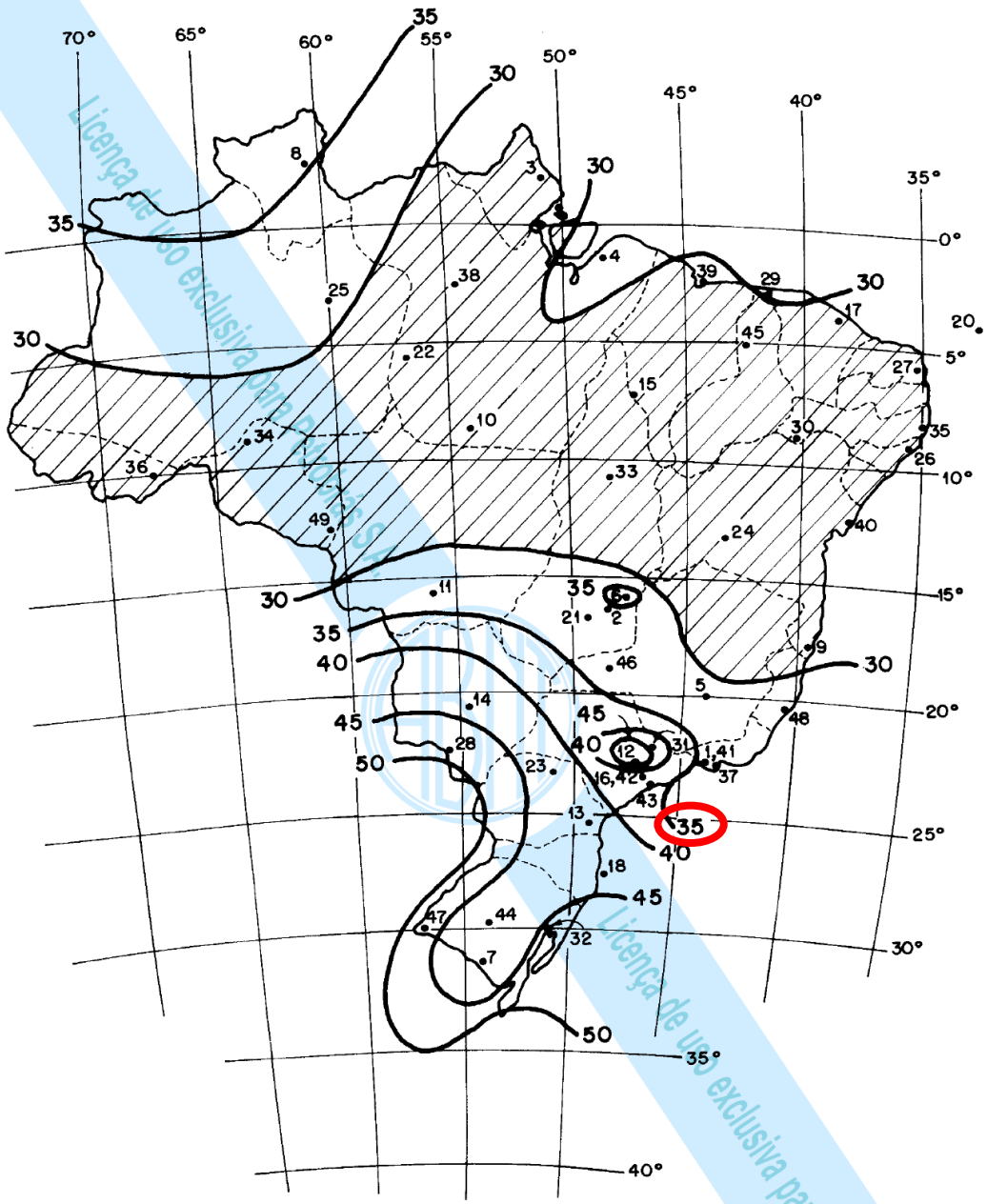
b) a velocidade básica do vento é multiplicada pelos fatores S_1, S_2 e S_3 para ser obtida a velocidade característica do vento, V_k, para a parte da edificação em consideração, de acordo com 5.2 a 5.5:

$$V_k = V_o S_1 S_2 S_3$$

c) a velocidade característica do vento permite determinar a pressão dinâmica pela expressão:

$$q = 0{,}613 V_k^2,$$

sendo (unidades SI): q em N/m^2 e V_k em m/s



Licença de uso exclusiva para Petrobras S.A.

V_o = em m/s

V_o = máxima velocidade média medida sobre 3 s, que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano

Figura 1 - Isopletas da velocidade básica V_o (m/s)

b) a velocidade básica do vento é multiplicada pelos fatores S_1, S_2 e S_3 para ser obtida a velocidade característica do vento, V_k, para a parte da edificação em consideração, de acordo com 5.2 a 5.5:

$$V_k = V_o S_1 S_2 S_3$$

Vk = 35 x 1,757 x 0,88 x 1,0 = 54,11 m/s

- Prof. Blessman , com q=**250 kgf/m2,** calculou V=**51 m/s**
- Foi observado no local da obra V=**28 m/s (pouco tempo de observação)**

  Com V=28m/s calcularam a pressão e acharam q=**188** kgf/m2,

  mas no projeto foi usada a pressão de q=**250 kgf/m2**

- Pela NBR6123

c) a velocidade característica do vento permite determinar a pressão dinâmica pela expressão:

$$q = 0{,}613 V_k^2,$$

sendo (unidades SI): q em N/m^2 e V_k em m/s

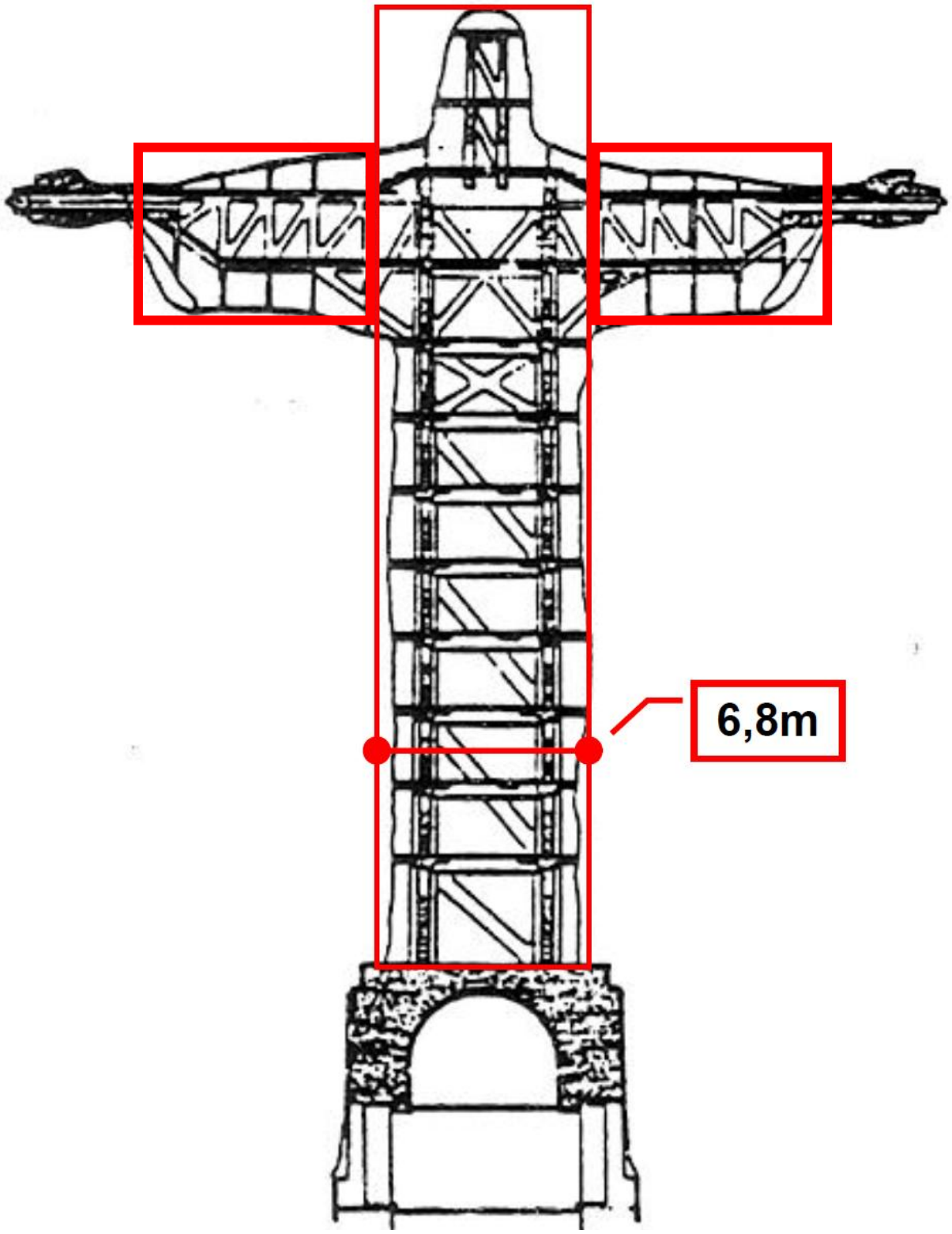
V = 54,11 m/s = 195 km/ hora

q = 0,613 x (54,11)^2 = 1794 N/m2 = 179 kgf / m2

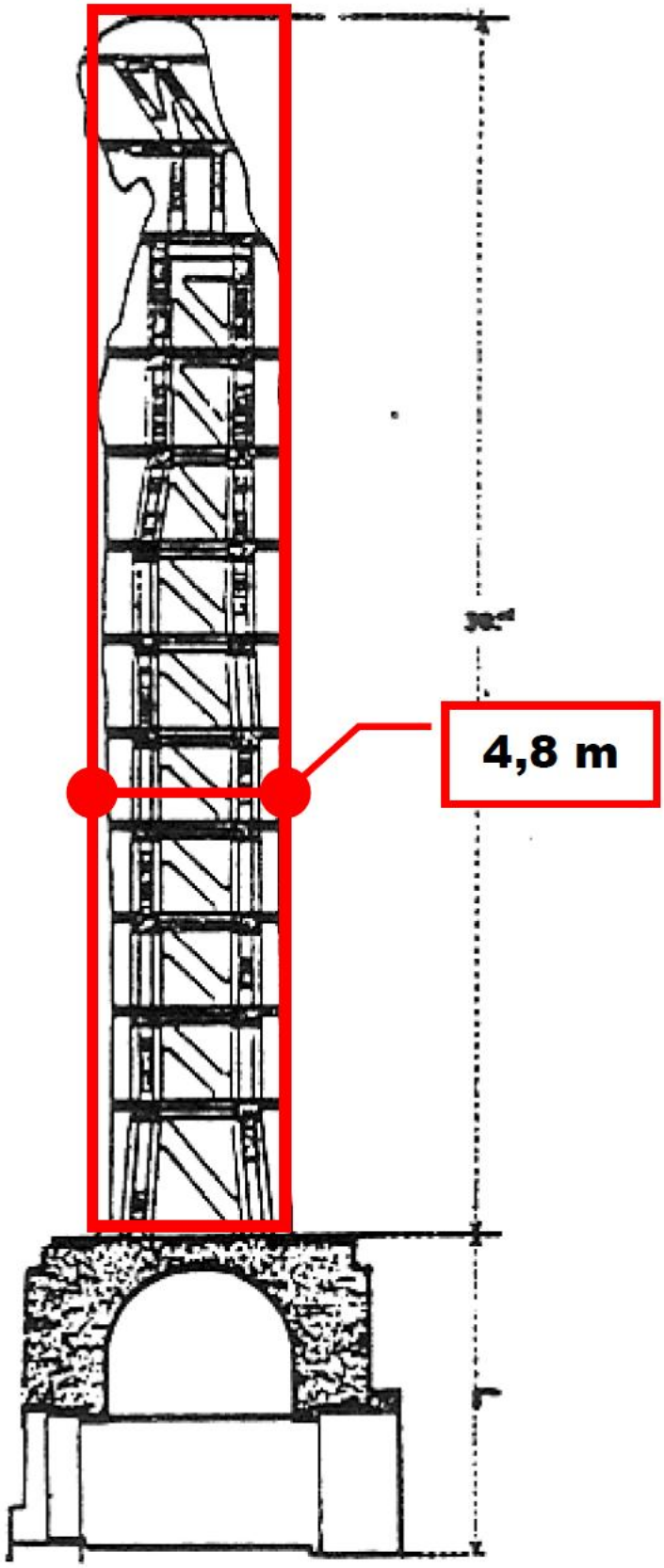
no projeto foi usada uma pressão p = Ca x q = 250 kgf / m2

onde Ca = 1,5 = coeficiente de arrasto (ver adiante)

ARRASTO



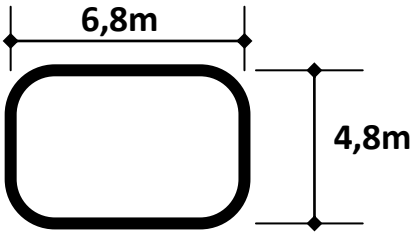
ARRASTO



SECÃO TRANSVERSAL



A SEÇÃO É ≈ UM RETÂNGULO COM CHANFROS NOS BORDOS



A grande pontifical de amanhã — O programa das solenidades de hoje — A missa campal de domingo — Vôos sobre a estatua santa — A chegada de D. Serafim Gomes Jardim, bispo de Arassuai



Reprodução parcial da grande fotografia aerea tirada pelo capitão S. H. Holland, especialmente para a revista "O Cruzeiro", dos "Diarios Associados", que a publica hoje em pagina dupla e em rotogravura. Apanhando todo o maravilhoso panorama que circunda a estatua colossal do Cristo, no Corcovado, ela é pela sua beleza a mais impressionante de quantas fotografias já se fizeram do gigantesco monumento e só por si basta para garantir o exito da sensacional edição que "O Cruzeiro" hoje põe á venda

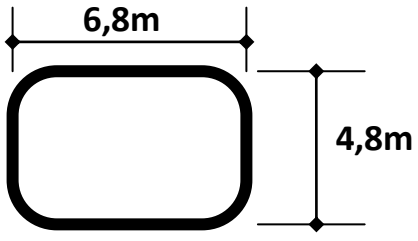
Com a aproximação do dia em que a capital da Republica verá oficialmente inaugurado o maior

ga, arcebispo de Curitiba; d. Joaquim Domingues de Oliveira, arcebispo de Florianopolis; d. Alber-

Francisco de Campos Barreto, bispo de Campinas; d. José Tomaz Gomes da Silva, bispo de Aracajú;

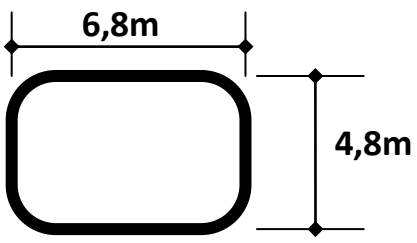
veira Lopes, bispo de Pesqueira; d. Otavio Chagas de Miranda, bispo de Pouso Alegre; d. Joaquim

A SEÇÃO É ≈ UM RETÂNGULO COM CHANFROS NOS BORDOS



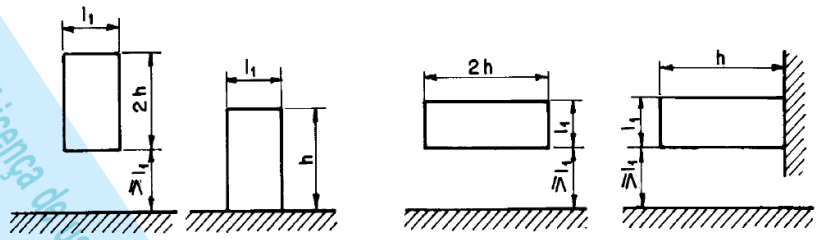


A SEÇÃO É ≈ UM RETÂNGULO COM CHANFROS NOS BORDOS



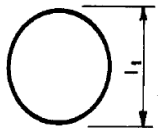
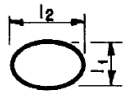
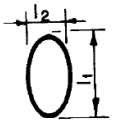
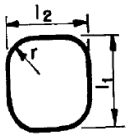
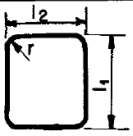
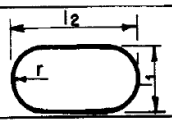
Edificações com seção elíptica

Tabela 10 - Coeficientes de arrasto, C_a, para corpos de seção constante



Vento perpendicular ao plano da figura

h=38m
l1=6,8m
h/l1=5,6

Planta		$Re^{(A)}$ x 10^{-5}	h/l_1						
			1/2	1	2	5	10	20	∞
→ 	liso (metal, concreto, alvenaria rebocada)	≤ 3,5	0,7	0,[illegible]	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
		≥ 4,2	0,5	0,[illegible]	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
	com rugosidade ou saliências = 0,02 l_1	Todos valores	0,7	0,[illegible]	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2
	com rugosidade ou saliências = 0,08 l_1	Todos valores	0,8	0,[illegible]	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4
→ 	ELIPSE l_1/l_2 = 1/2	≤ 4,2	0,5	0,[illegible]	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
		≥ 7	0,2	0,[illegible]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
→ 	ELIPSE l_1/l_2=2 **l1=6,8m l2= 4,8m l1/l2=1,4**	≤ 7	0,8	0,[illegible]	0,9	1,0	1,1	1,3	1,[illegible]
		≥ 8	0,8	0,[illegible]	0,9	1,0	1,1	1,3	1,[illegible]
→ 	l_1/l_2=1 r/l = 1/3	≤ 3,5	0,6	0,[illegible]	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0
		≥ 4,2	0,4	0,[illegible]	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
→ 	l_1/l_2=1 r/l_1=1/6	≤ 7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,3
		≥ 8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
→ 	l_1/l_2=1/2 r/l_1=1/2	≤ 2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
		≥ 3,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3

/continua

Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.

Ca = 1,0

Edificações com seção retangular

l1=6,8m l2= 4,8m l1/l2=1,4 ; h=38m l1=6,8m h/l1=5,6

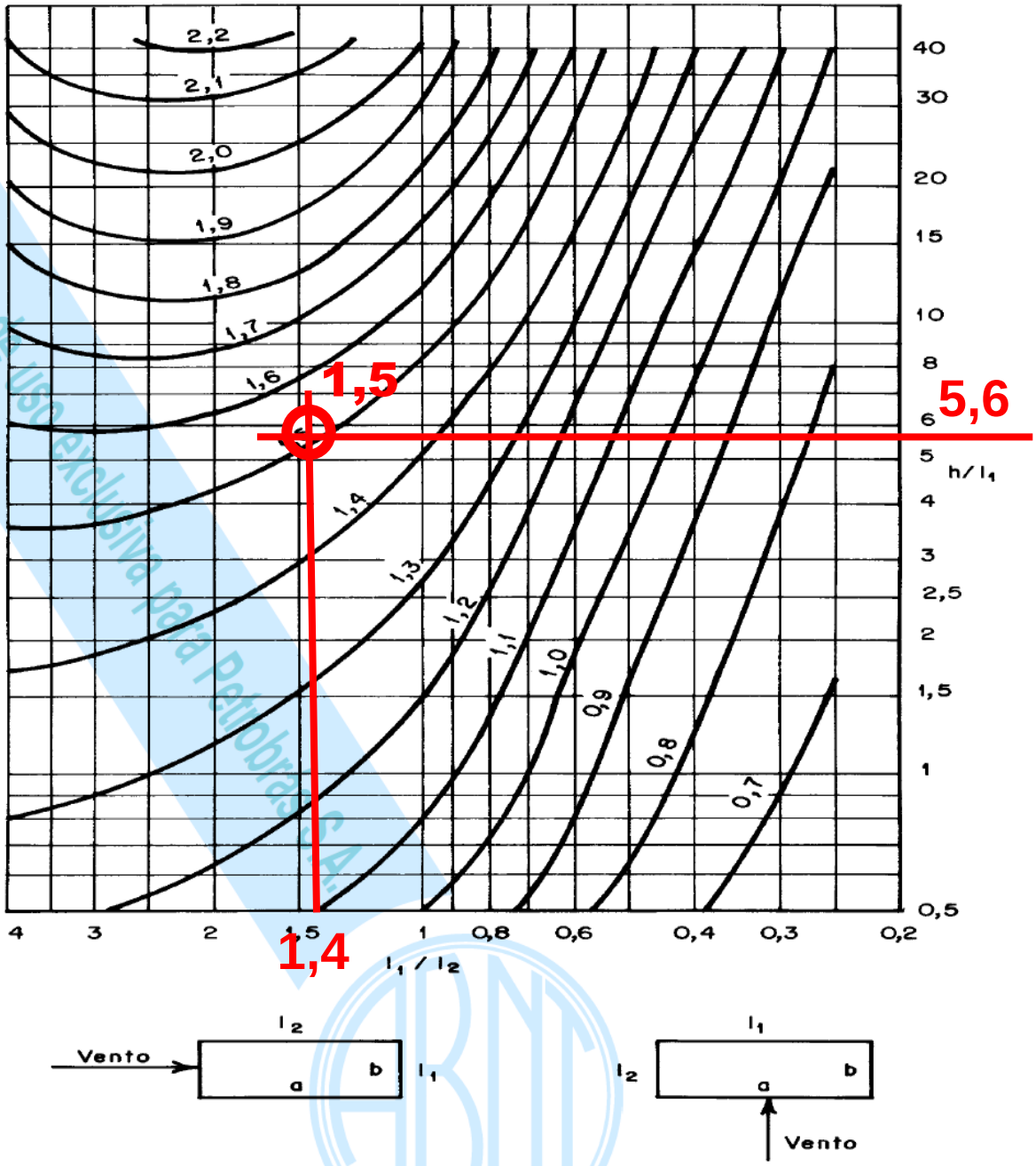


Figura 4 - Coeficiente de arrasto, C_a, para edificações paralelepipédicas em vento de baixa turbulência

COEFICIENTE DE ARRASTO

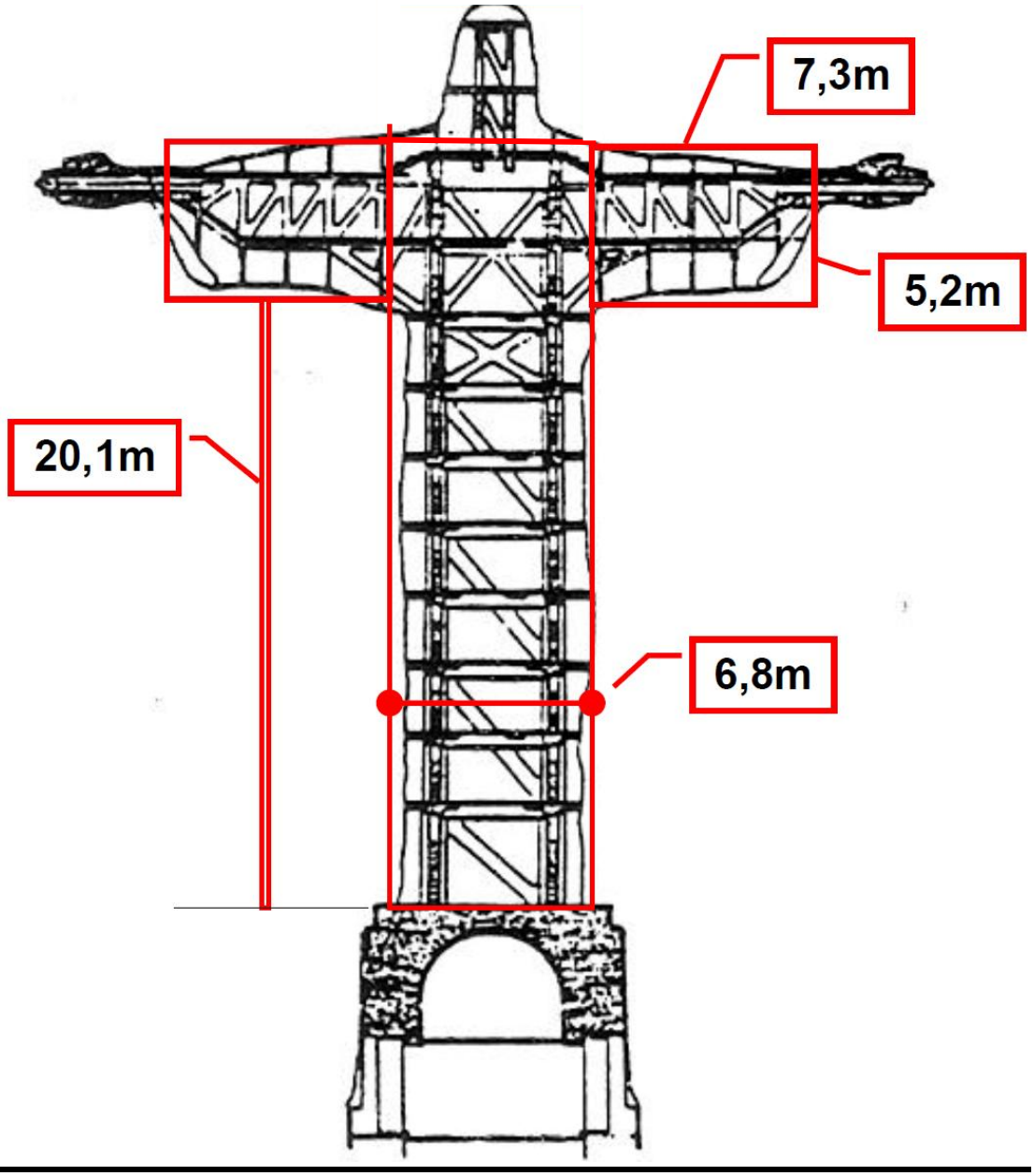
Ca = 1,5

pressão do vento = p = 1,5 x **179 kgf / m2 = 255 kgf/m2**

no projeto foi usado p = 250 kgf/m2

MOMENTO DO VENTO NA BASE

ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO



CORPO

H = 0,25 t/m2 x6,8m x (20,1m + 5,2m = 25,3m) = 43 t x (25,3m / 2) = 543,95 tm

BRAÇOS

H = 0,25 t/m2 x5,2mx (2x7.3m = 14,6m) = 19 t x (20,1m+5,2m/2) = 431,3 tm

TOTAL

H = 62 ton M base = 975 ton. m

DADOS DO PROJETO ORIGINAL, SEGUNDO O ENG. HEITOR DA SILVA COSTA

Como resultado final dos esforços verticaes obtemos os seguintes valores:

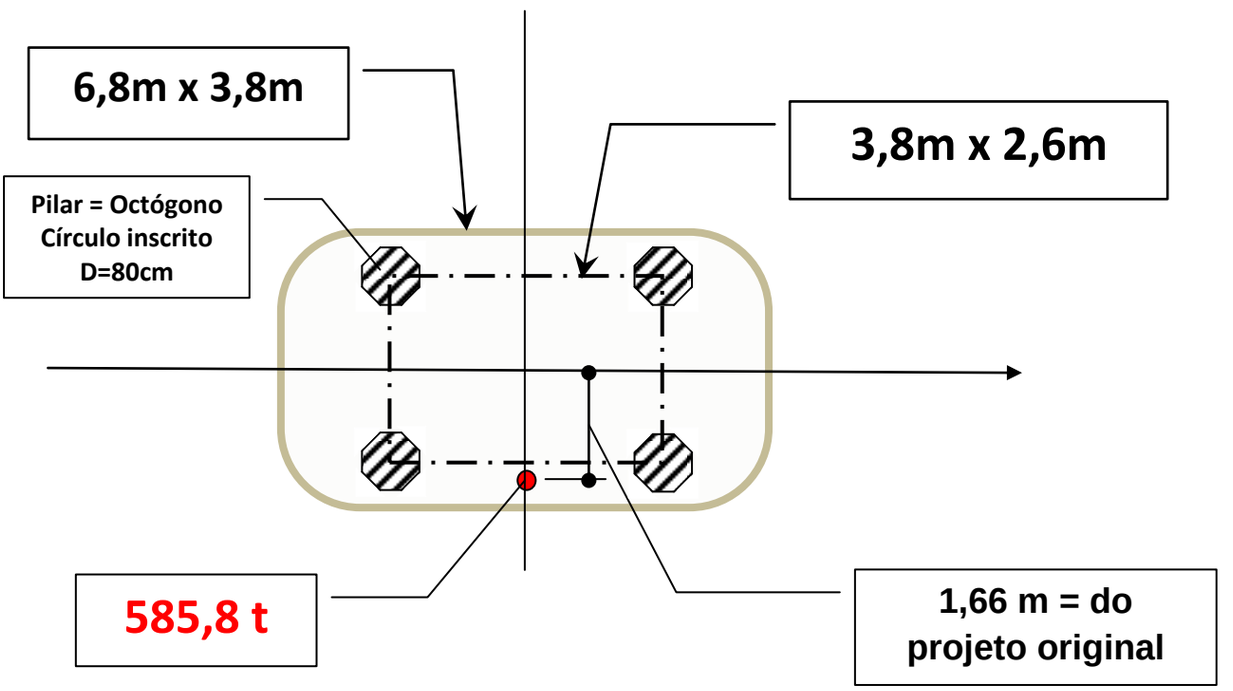
R = 381.20 + 205.60 = 586T.80

R' = 381.20 + 102.80 = 484T.00

No calculo geral de estabilidade, para a componente da força vertical foram consideradas as espessuras minimas de revestimento, por ser o caso mais desfavoravel; e para o calculo das peças que devem resistir ao es-

Excentricidade Mínima = 975 t.m / 586,8 t = 1,66m

Excentricidade Máxima = 975 t.m / 484,0 t = 2,01m



CARGA MÁXIMA NOS PILARES, segundo o relatório do projeto original.

R = 1/2 X (586,8 t x (2,6m/2 + e=1,66m) / 2,6m = 334 t de compressão num pilar

R = 1/2 X (586,8 t x (1,66m - 1,30m) / 2,6m = 41 t de tração num pilar

Pilar octogonal

Área do círculo inscrito = Pi x (80cm)^2/4 = 5024 cm2

Tensão no concreto = 334 t / 5024 cm2 = 66 kgf/cm2

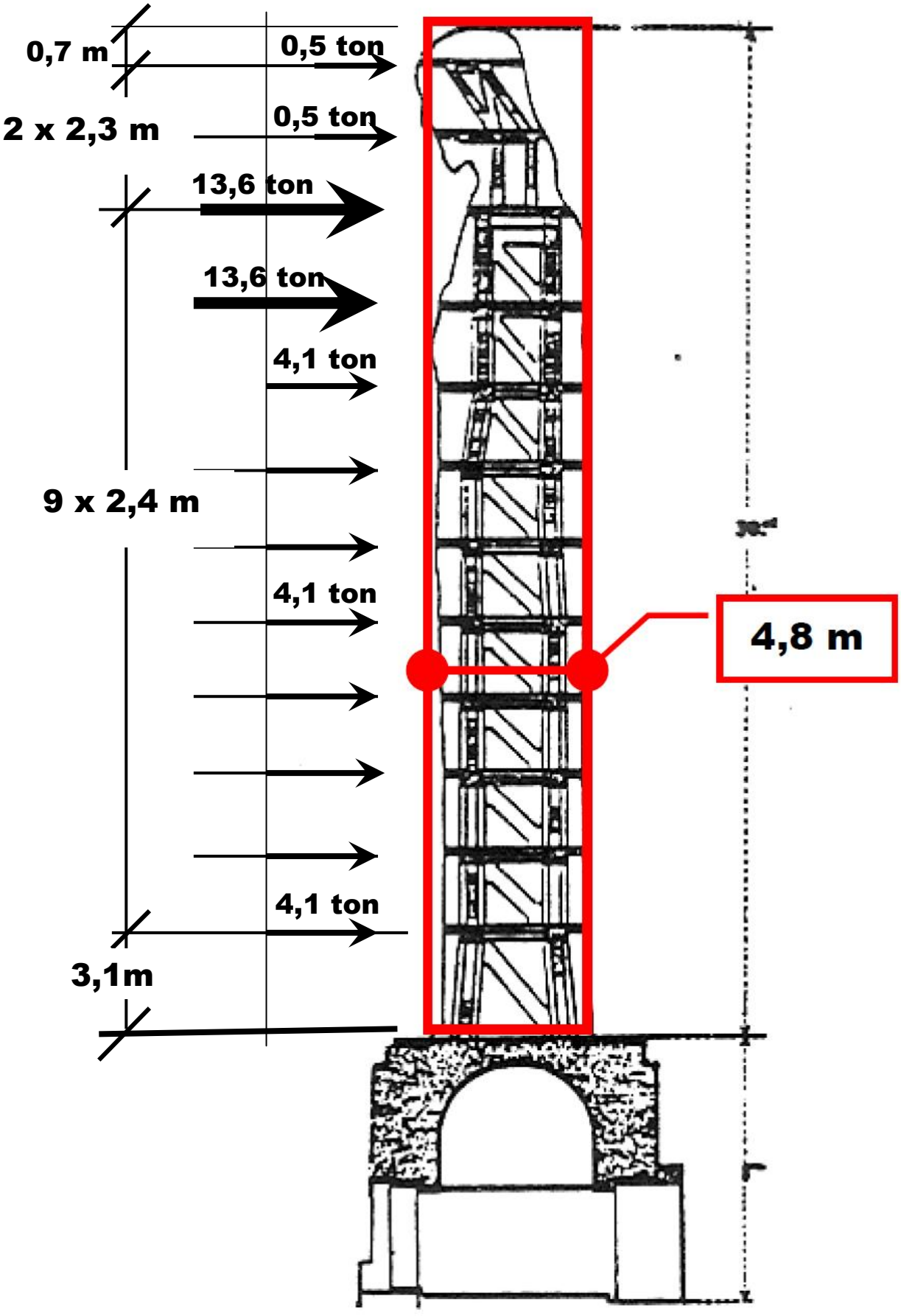
CARGA MÍNIMA NOS PILARES, segundo o relatório do projeto original

R = 1/2 X (484 t x (e=2,01m - 1,30m) / 2,6m = 66 t de tração em um pilar

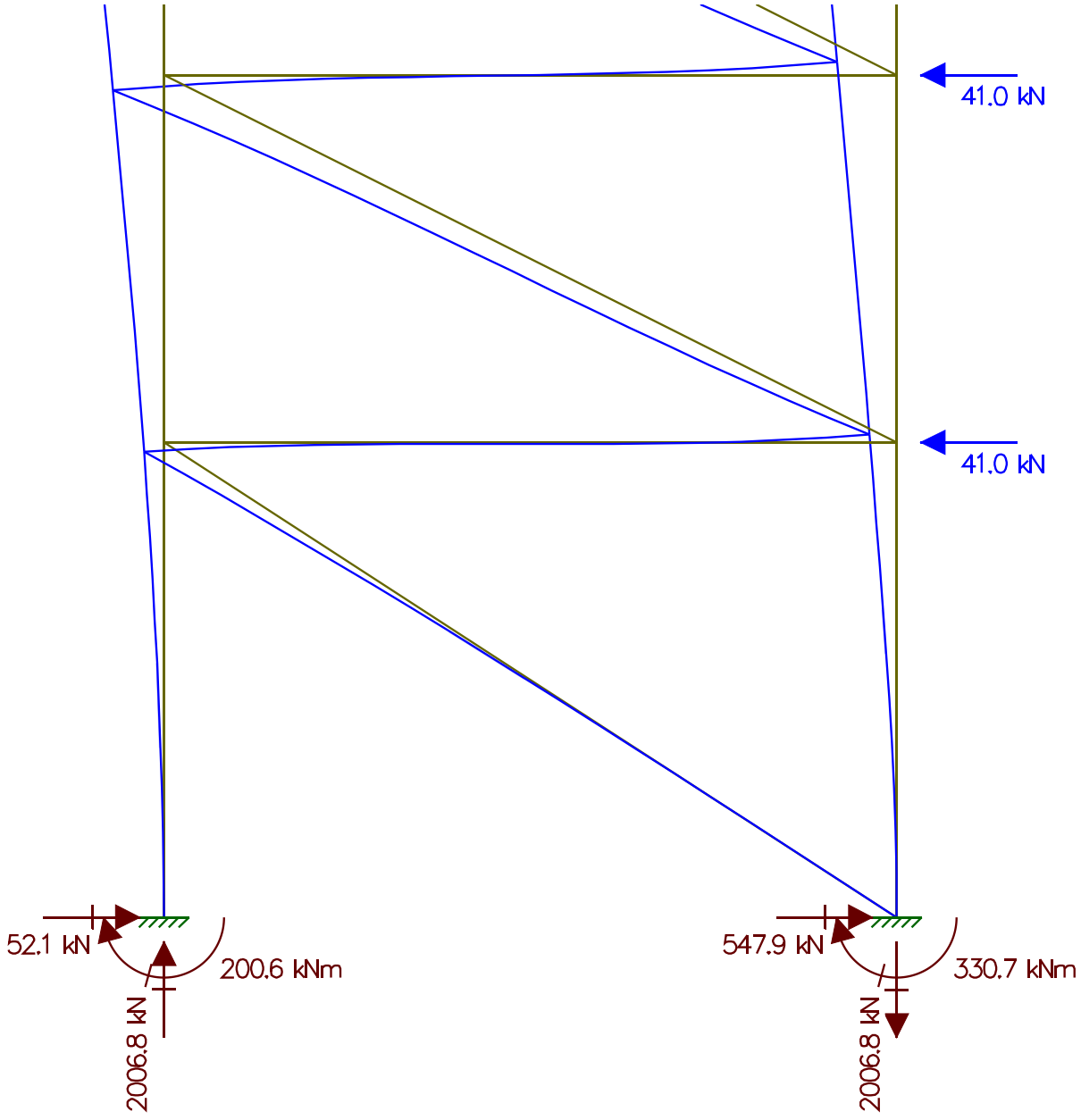
área de aço em um pilar = 66t / (σadm. = 1,2 t/cm2) = 55 cm2 = 12 ferros de 1"

(VER FOTO DA ARMADURA ADIANTE)

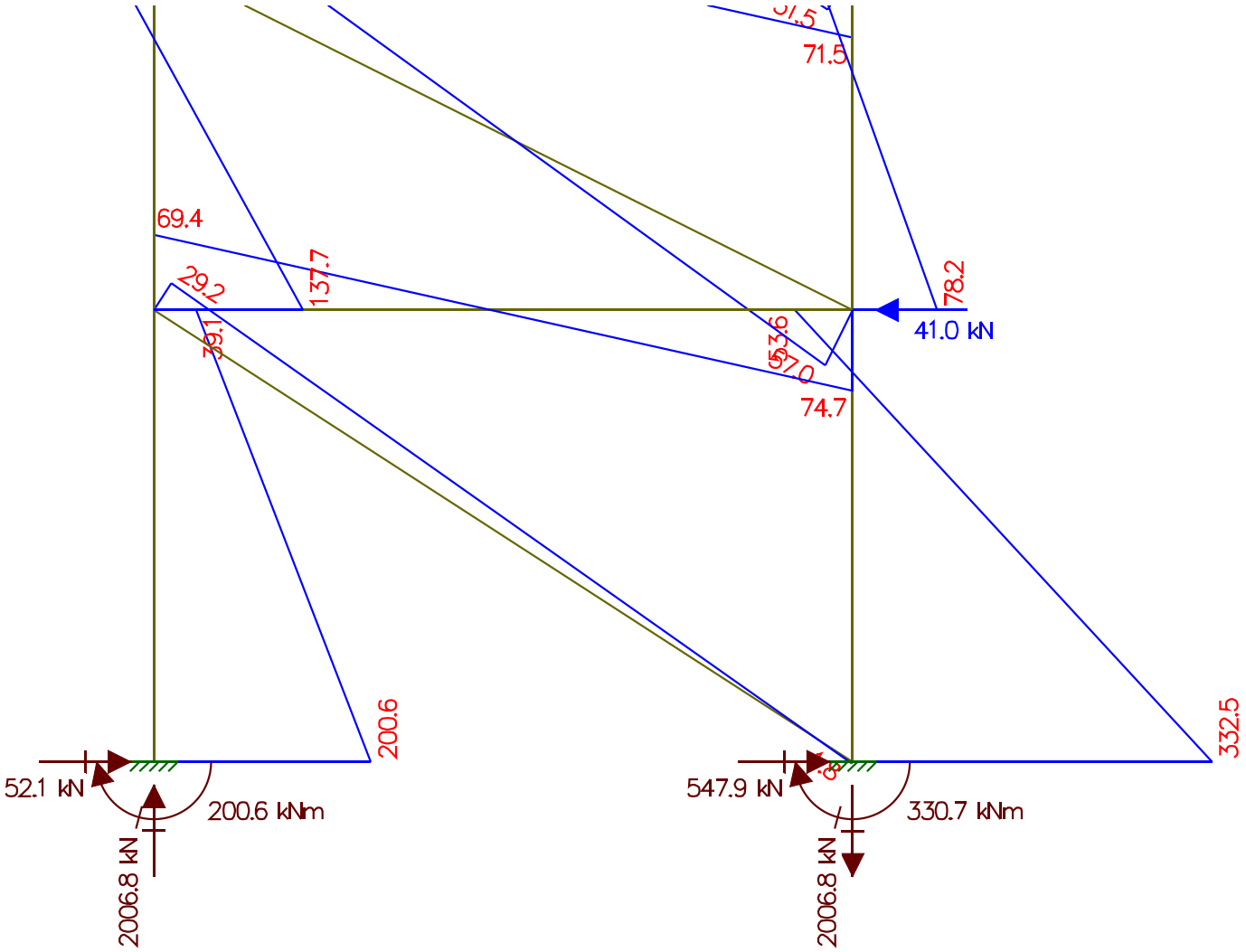
TRELIÇA TOTAL



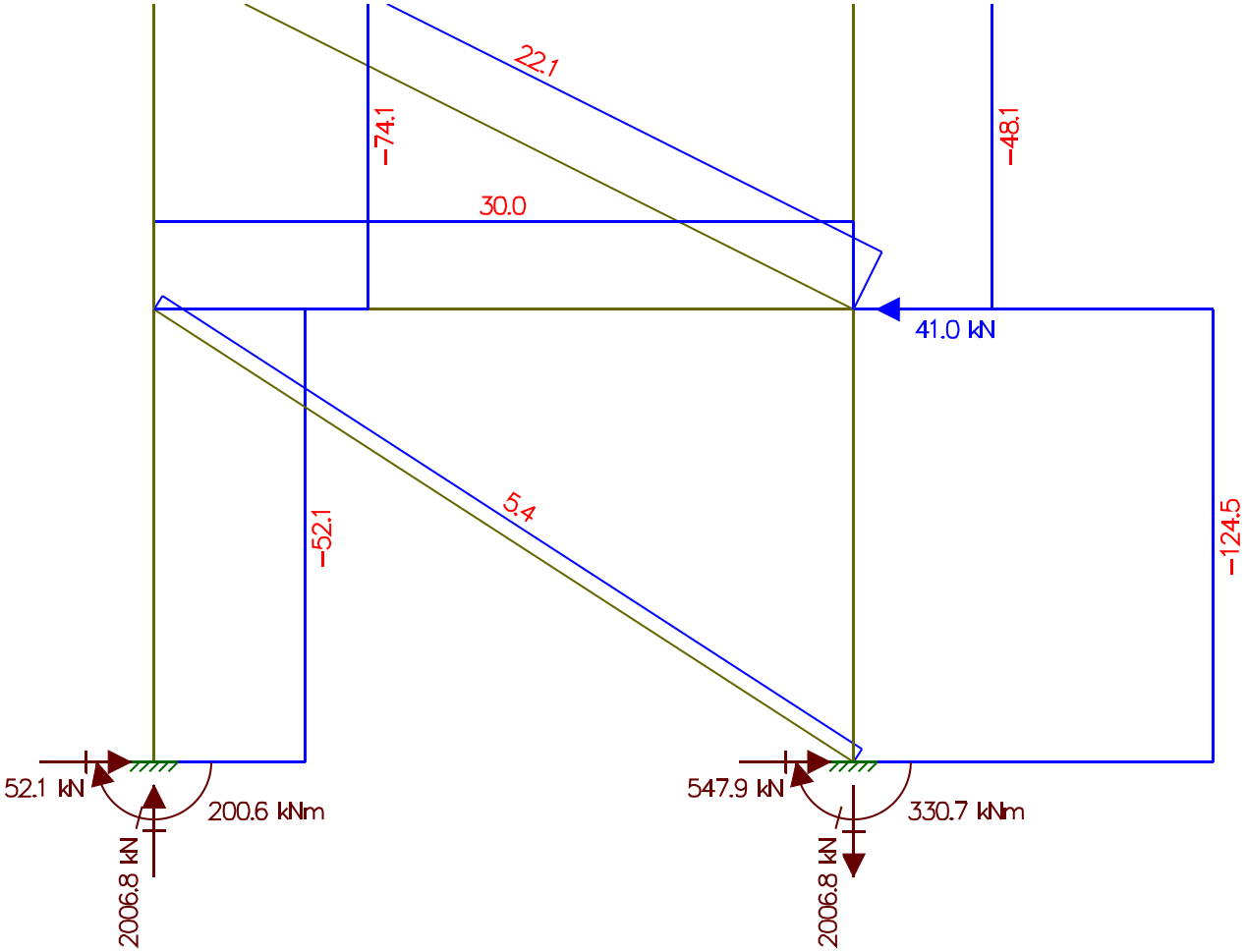
DEFORMADA



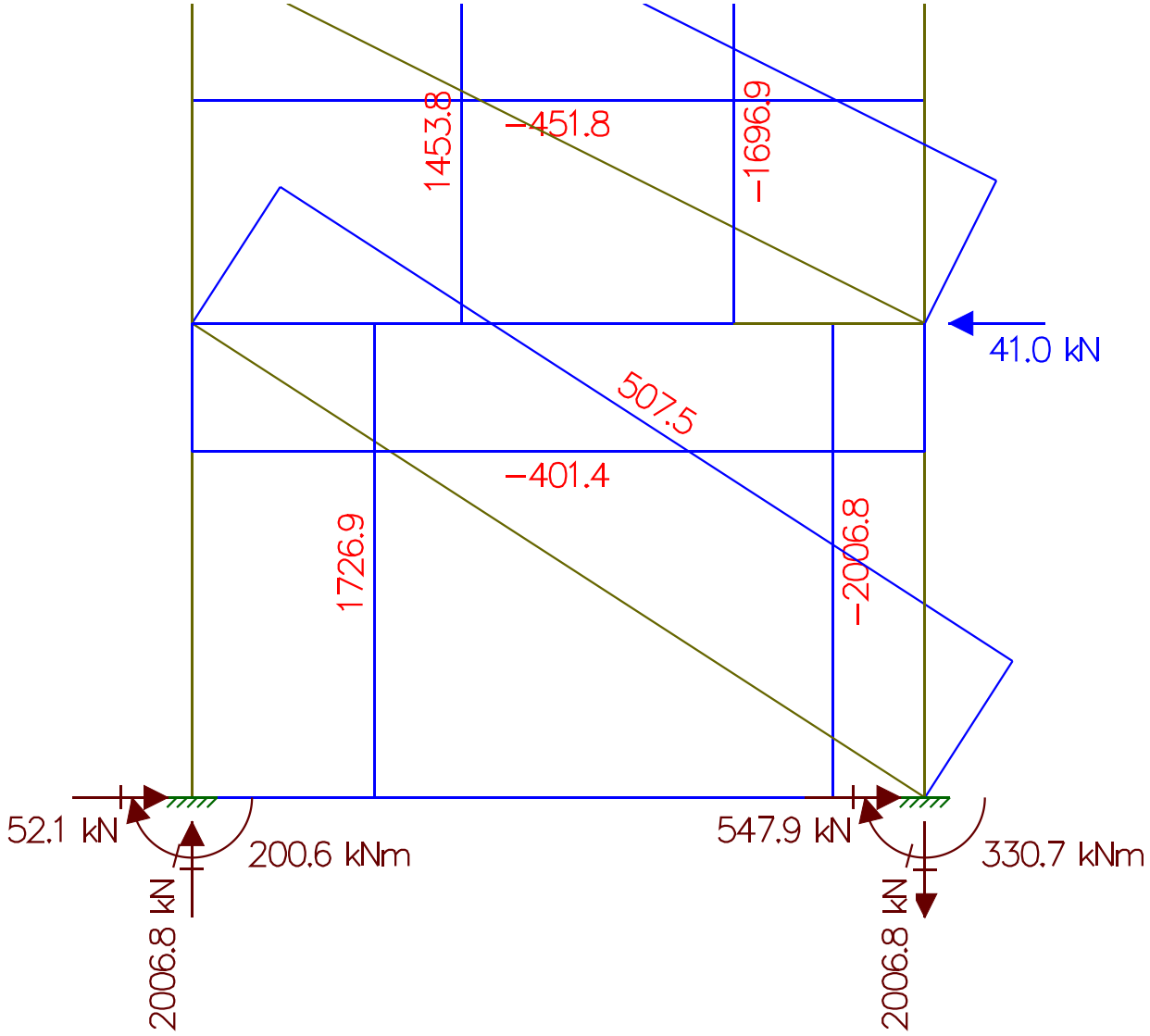
MOMENTO FLETOR



FORÇA CORTANTE

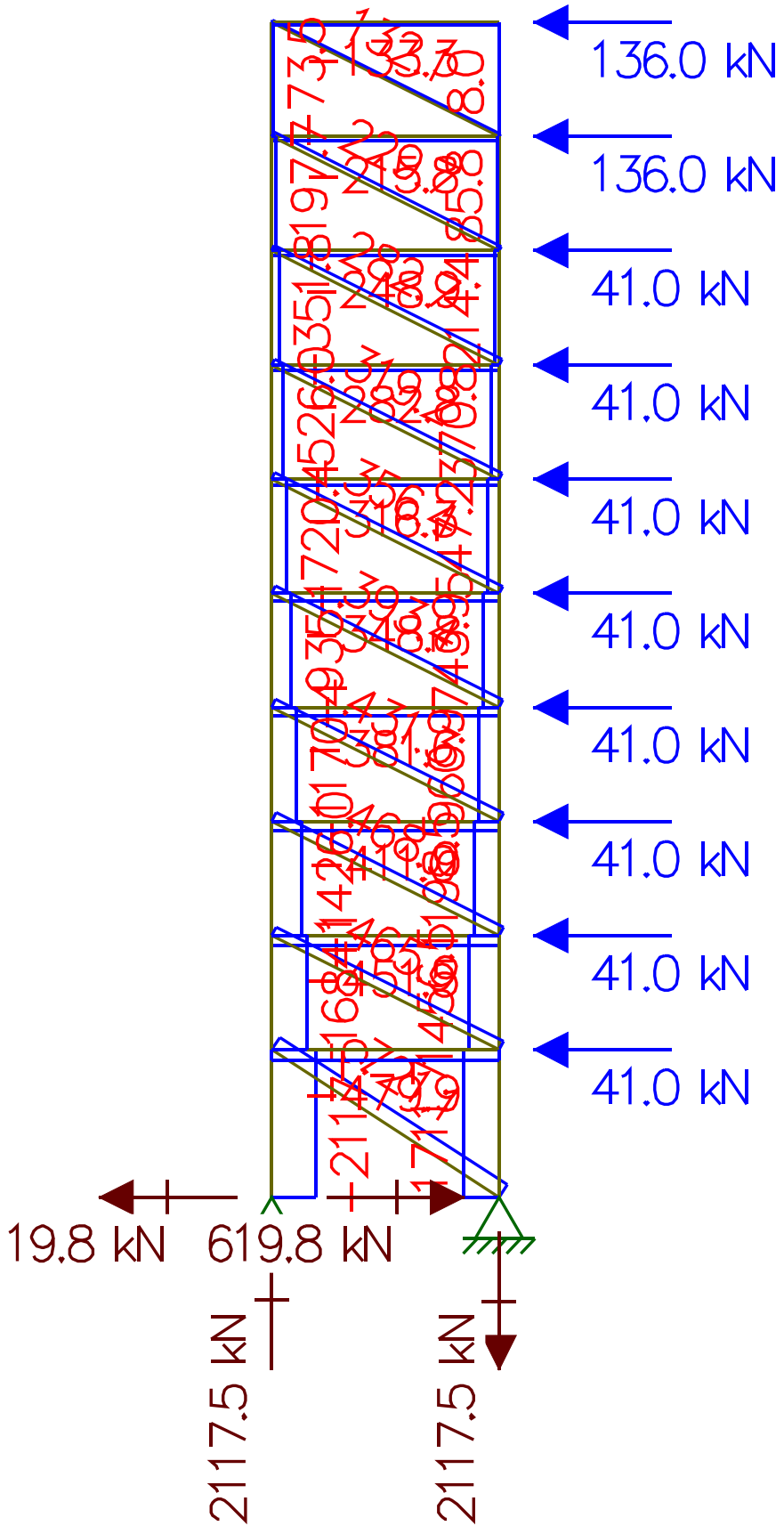


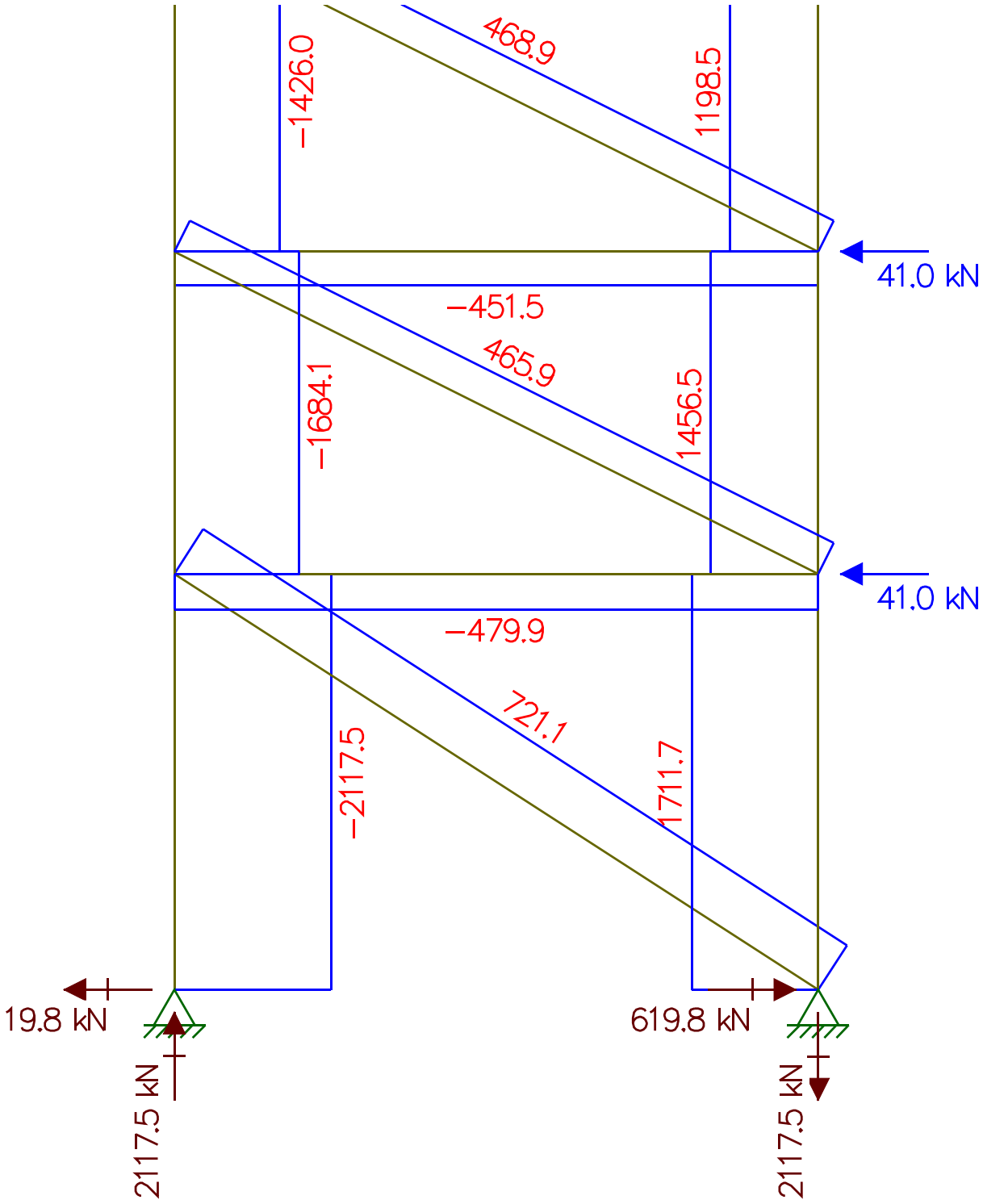
FORÇA NORMAL



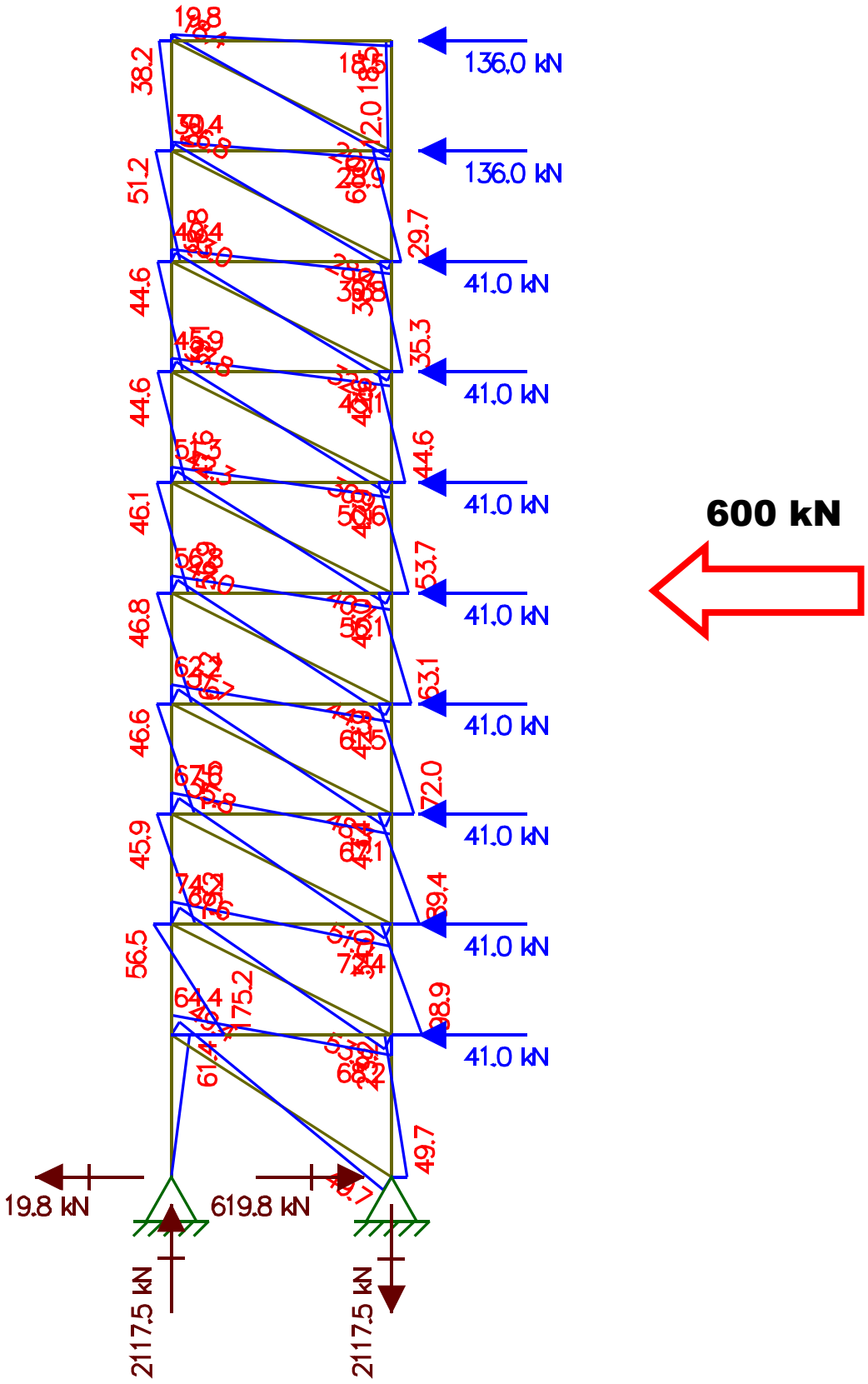
Rótulas na Base

NORMAL




−1426.0
468.9
1198.5
41.0 kN
−451.5
−1684.1
465.9
1456.5
41.0 kN
−479.9
721.1
−2117.5
1711.7
19.8 kN
619.8 kN
2117.5 kN
2117.5 kN

MOMENTO FLETOR



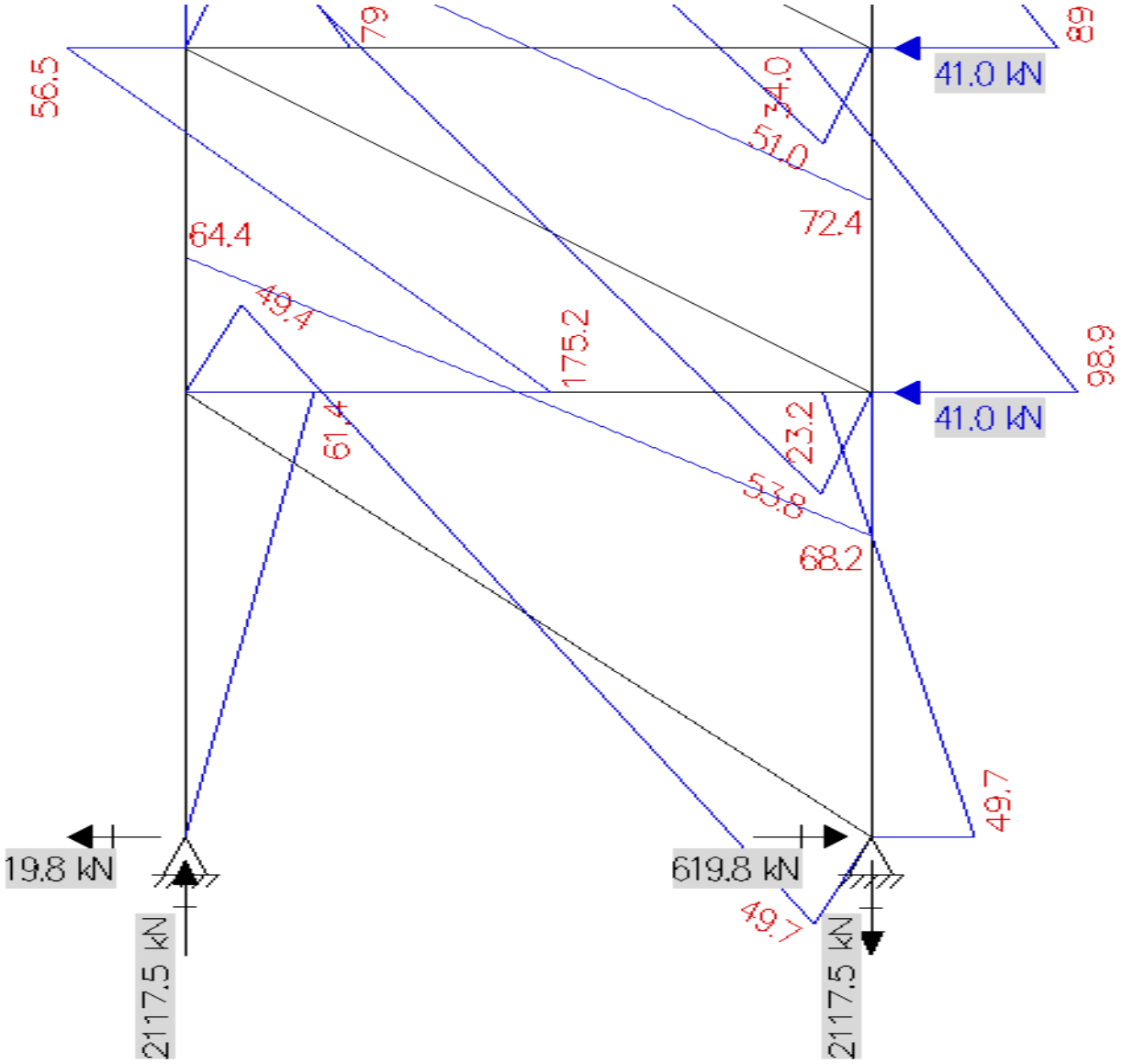
(3,1m + 3,5 x 2,4 m) x (8 x 41 kN) = 11,5m x 328 kN = 3772 kN.m

(3,1m + 8,5x2,4m) x (2x136 kN) = 23,5m x 272 kN = 6392 kN.m

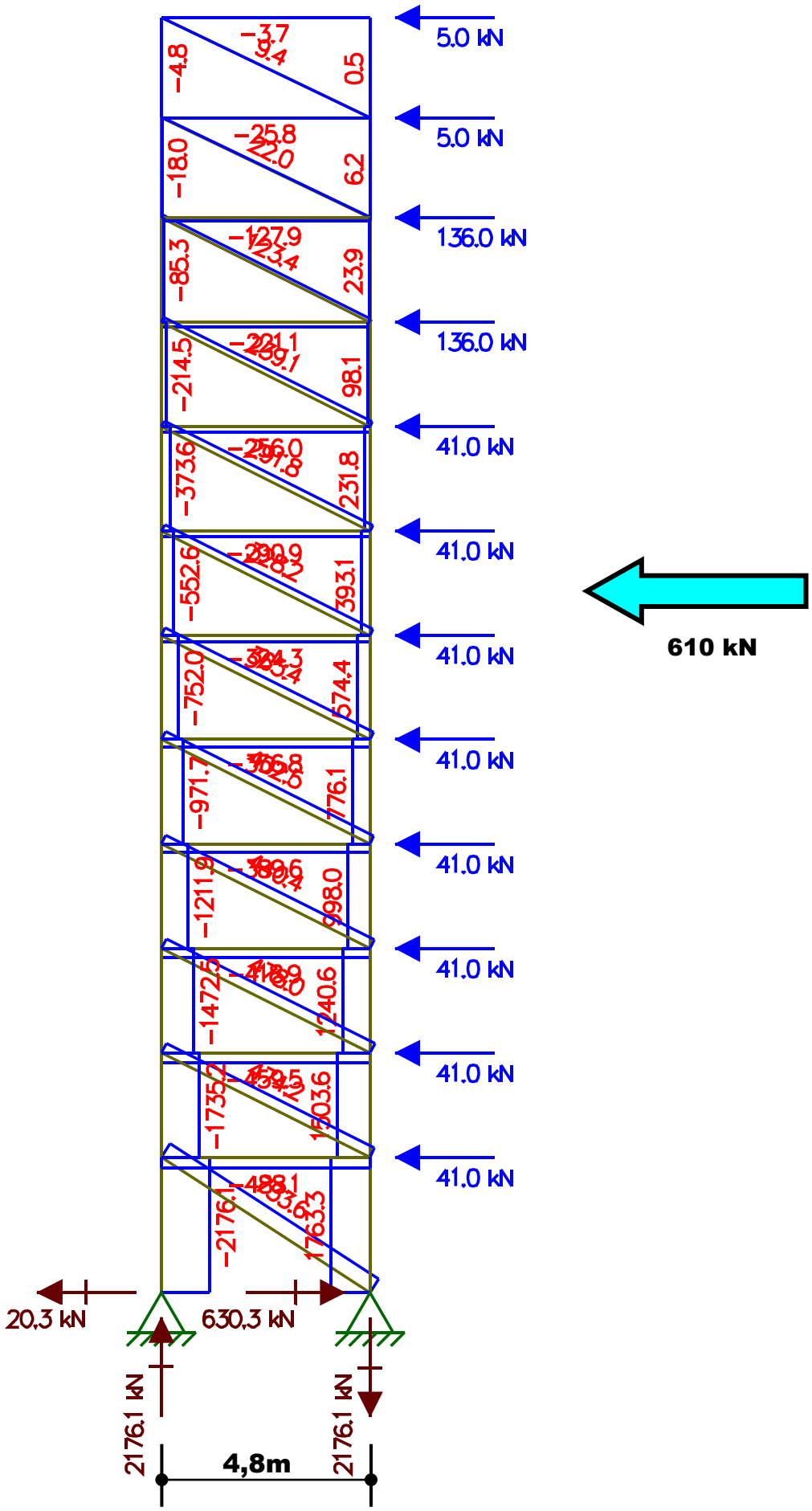
H = 600 kN , **Mbase = 10164 kN.m** V = M/ 4,8m= 2117, 5 kN OK

(

MOMENTO FLETOR



ADICIONANDO O VENTO NA CABEÇA DA ESTATUA



N em 2 PILARES = 217,61 ton >>>>> N em 1 PILAR = 108,8 ton

M BASE = 2176,1 kN x4,8m = 10445,28 kN.m

FORÇA NORMAL NO PILAR NA BASE

CARGAS DO PROJETO ORIGINAL

Como resultado final dos esforços verticaes obtemos os seguintes valores:

R = 381.20 + 205.60 = 586T.80

R' = 381.20 + 102.80 = 484T.00

No calculo geral de estabilidade, para a componente da força vertical foram consideradas as espessuras minimas de revestimento, por ser o caso mais desfavoravel; e para o calculo das peças que devem resistir ao esmagamento foram consideradas as espessuras maximas, por ser, igualmente, o caso mais desfavoravel.

c) — A sobrecarga admittida para os "plateaux" foi de 500 kg. por metro quadrado, carga existente, sómente, durante o periodo da construcção e que não foi levada em consideração no calculo final da obra.

CARGA VERTICAL MÁXIMA SEGUNDO O PROJETO INICIAL

Peso próprio + Sobrecarga = V total = 586,8 ton

Em um pilar N = 586,8 ton / 4 = 146, 7 ton

Carga em um pilar devida ao vento

N (+/-) = 108,8 ton

Carga máxima = 146,7 ton + 108,8 ton = 255,5 ton COMPRESSÃO

Área do pilar com D=80cm = Pi x $(80cm)^2$ / 4 = 5024 cm2

Tensão no concreto = 255,5 ton / 5024 cm2 = 50,9 kgf/cm2 < σ adm. = 56 kgf/cm2

Tensão admissível do projeto = σ adm. = 56 kgf/cm2

Concreto com resistência mínima aos 90 dias = 200 kgf/cm2

coeficiente de segurança = 200 / 50,9 = 3,9 > 3,0 = valor da norma NB01 OK

CARGA VERTICAL MÍNIMA SEGUNDO O PROJETO INICIAL

Peso próprio (sem sobrearga e considerando pequena espessura no manto) =

= V total = 484,0 ton

Em um pilar N = 484 ton / 4 = 121 ton

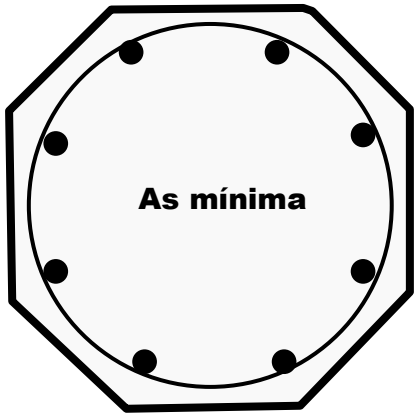
Carga em um pilar devida ao vento

N (+/-) = 108,8 ton

Carga mínima no pilar = 121 ton - 108,8 ton = 12,2 ton COMPRESSÃO

Área mínima de aço necessária = 0,8% x 5024 cm2 = 40,2 cm2

8 ferros 1 1/4 " = 8 x 8 cm2 = 64 cm2

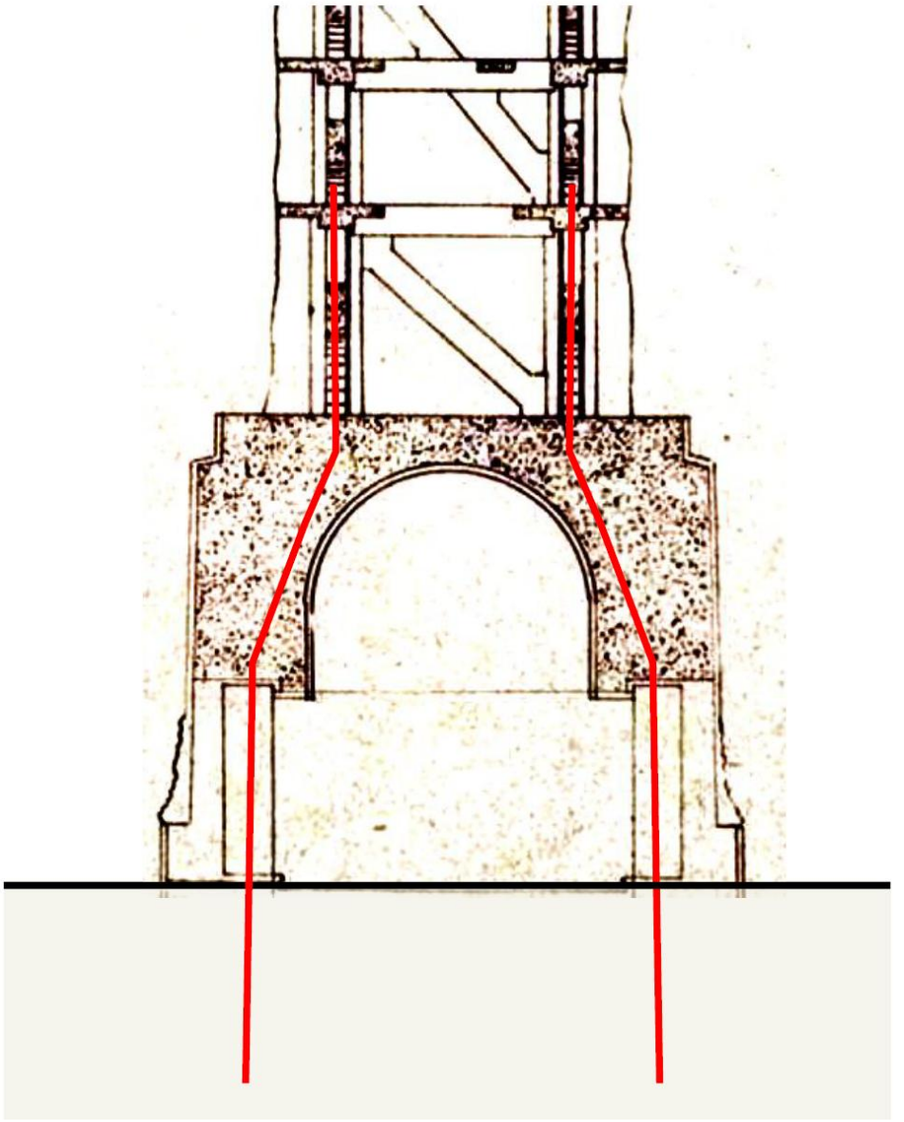




Os ferros foram ancorados na rocha

Ver : TEXTO DO RELATÓRIO DO ENG. HEITOR DA SILVA COSTA

Esses pilares, engastados no bloco formado pelo pedestal, têm as suas armações metalicas prolongadas até o solo, onde penetram e, por outro lado, elevam-se, a partir desse pedestal, ligeiramente inclinados, para depois subirem verticalmente, inclinando-se ainda



SEGURANÇA AO TOMBAMENTO

Peso próprio (sem sobrearga e considerando pequena espessura no manto da estatua) = V total = 484,0 t (do Relatório do projeto)

MOMENTO RESISTENTE AO TOMBAMENTO = 484 t x (4,8m/2) = 1161,6 tm

MOMENTO CAUSADO PELO VENTO COM 250kgf/m2 =

= com N em 2 PILARES = 217,61 ton x 4,8m = 1044,5 tm

Segurança ao tombamento sem armadura ancorada na rocha :

Coef. Seg. = 1161, 6tm / 1044,528 = 1,11

Para aumenter a segurança ao tombamente é necessário colocar armadura de tração ancorada na rocha

Em 2 pilares de um dos lados da treliça espacial de concreto armado:

Momento Resistente ao Tombamento de cálculo =

= 0,9 x (Ng = 484t) x (4,8m/2) + As x fyd x 4,8m

Momento de Tombamento de cálculo = 1,5 x 1044,528 tm =1566,8 tm

Equação do equilíbrio

1045,44 tm + As (cm2) x (2,4t/cm2)/1,15 > 1566,8 tm

Logo As = 249,8cm2 em 2 pilares .

Em 1 pilar : As nec. = 125 cm2 = 16 ferros de 32 mm (nas fotos que seguem são vistos 16 ferros no pilar)

ARMADURA DE UM PILAR E ARMADURA DA DIAGONAL
REVISTA "O CRUZEIRO" - 10 OUTUBRO 1931

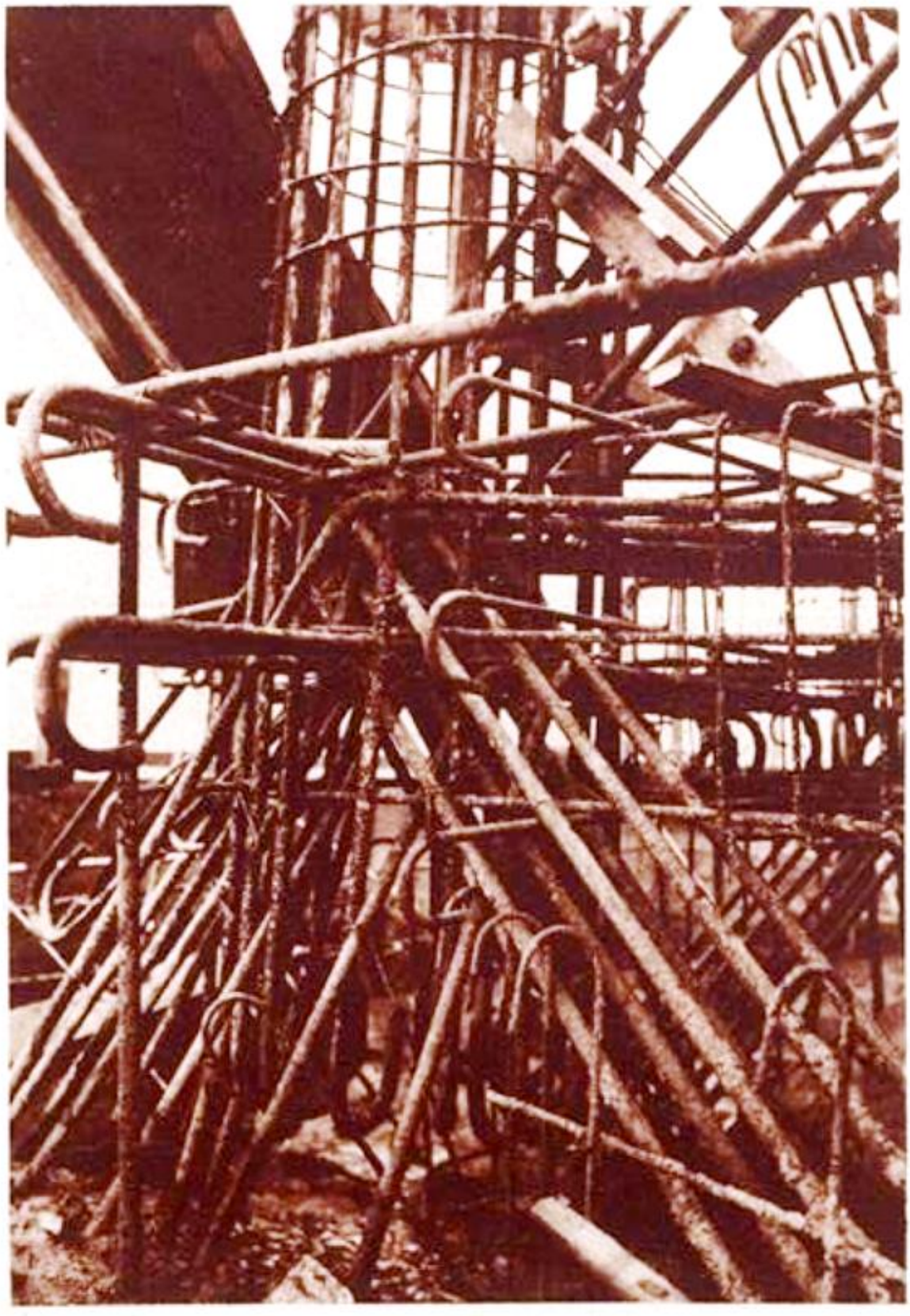


DETALHE DA ESTRUTURA INTERNA

Dois pilares e uma diagonal da treliça 3D

ARMADURA DE UM PILAR
REVISTA "O CRUZEIRO" - 10 OUTUBRO 1931

uzeiro 10 de Outubro de 1931

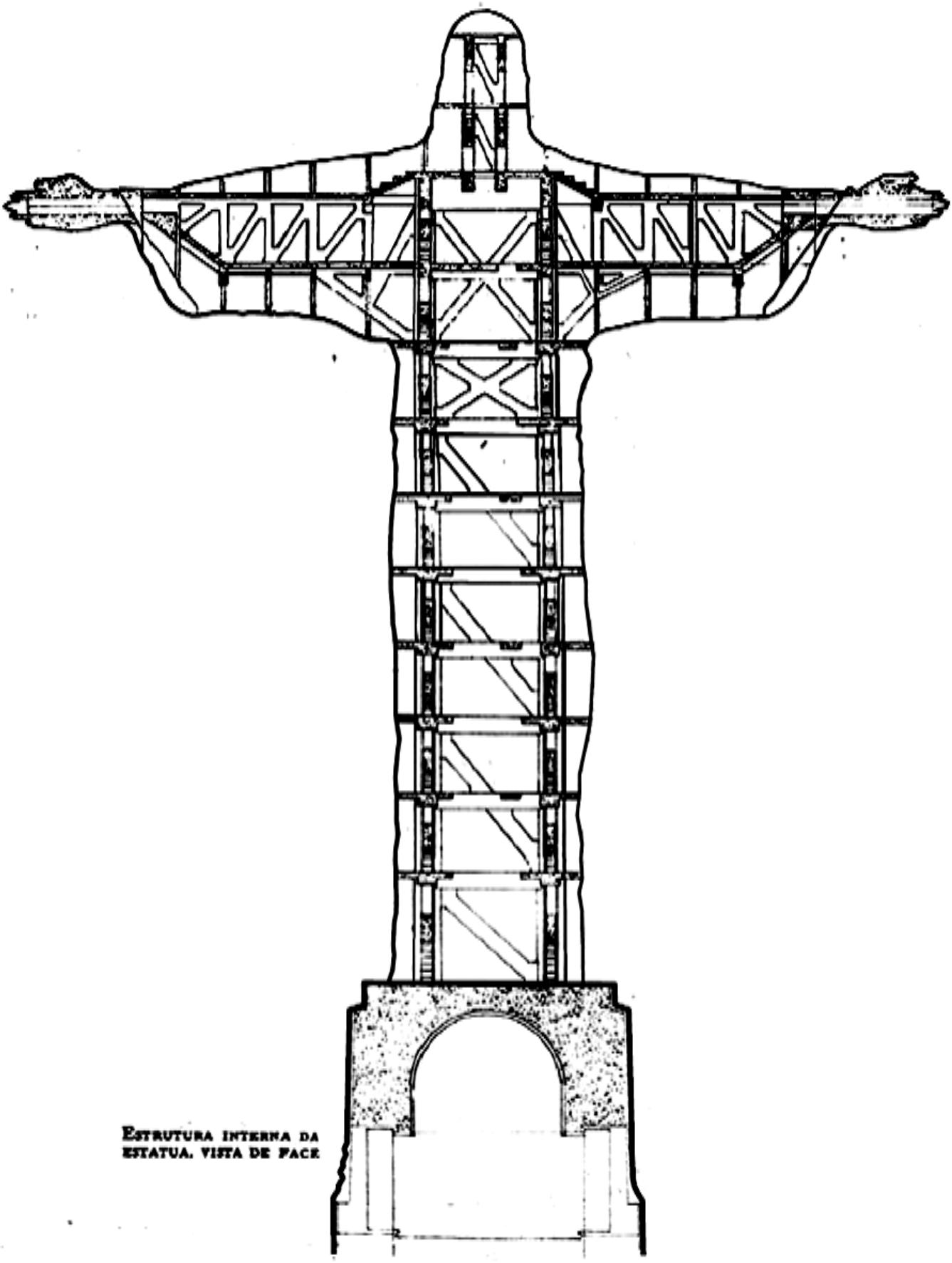


SOBRELEITO DO PEDESTAL E NASCENÇA DE UM DOS PILARES

Sobreleito do Pedestal e Nascença de um dos Pilares

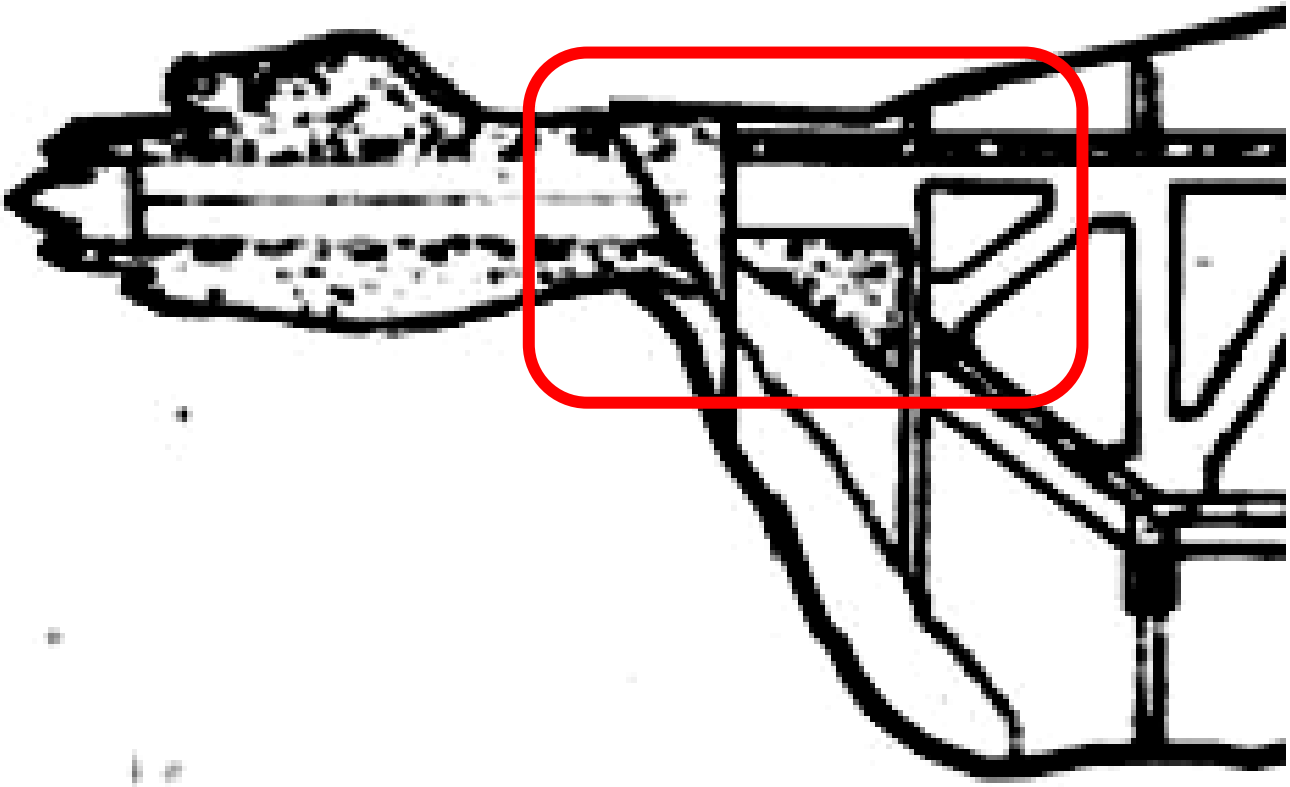
Seriam 16 ferros no pilar com estribos circulares.
Também se vê na foto a armadura da diagonal da treliça espacial .

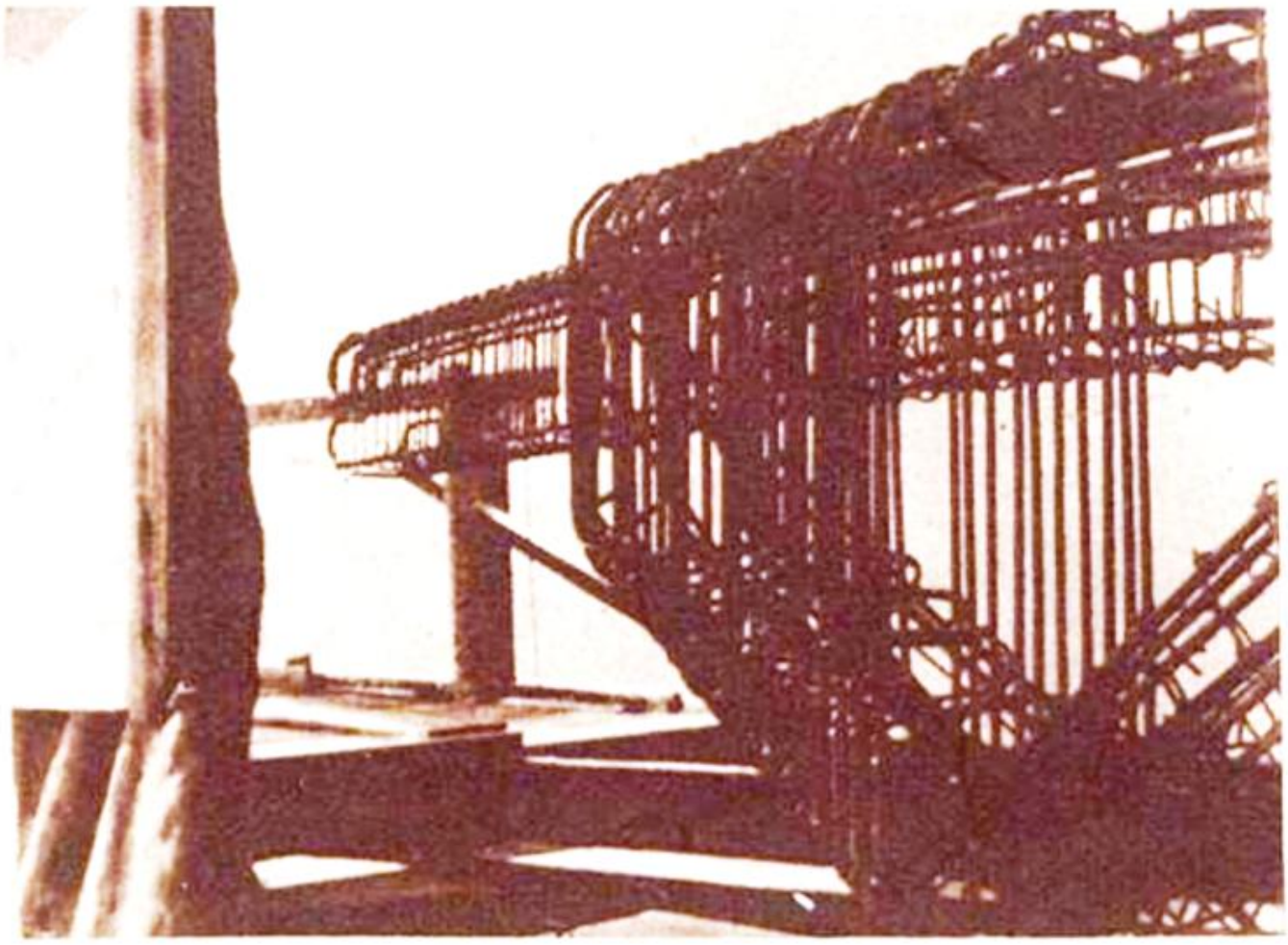
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EM TRELIÇA 3D .



ESTRUTURA INTERNA DA ESTATUA. VISTA DE FACE

MÃO





DETALHE DO ENGASTAMENTO DA VIGA DE AÇO DA MÃO

ARMADURA DO BRAÇO PARA ENGASTE DA MÃO

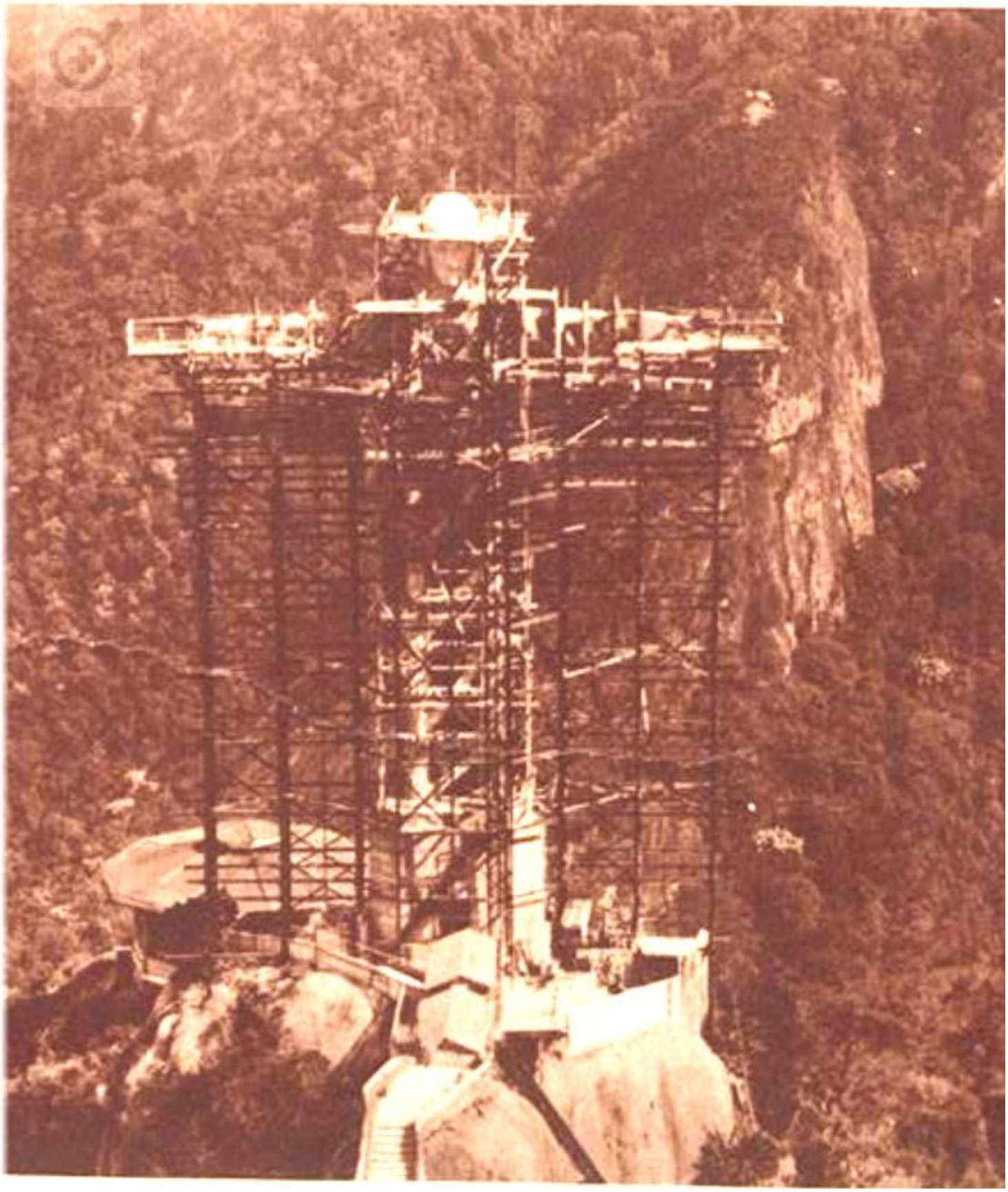
TRELIÇA ESPACIAL EM CONSTRUÇÃO



TURISTAS ARGENTINOS - REVISTA "CARETA" - 9/8/1930

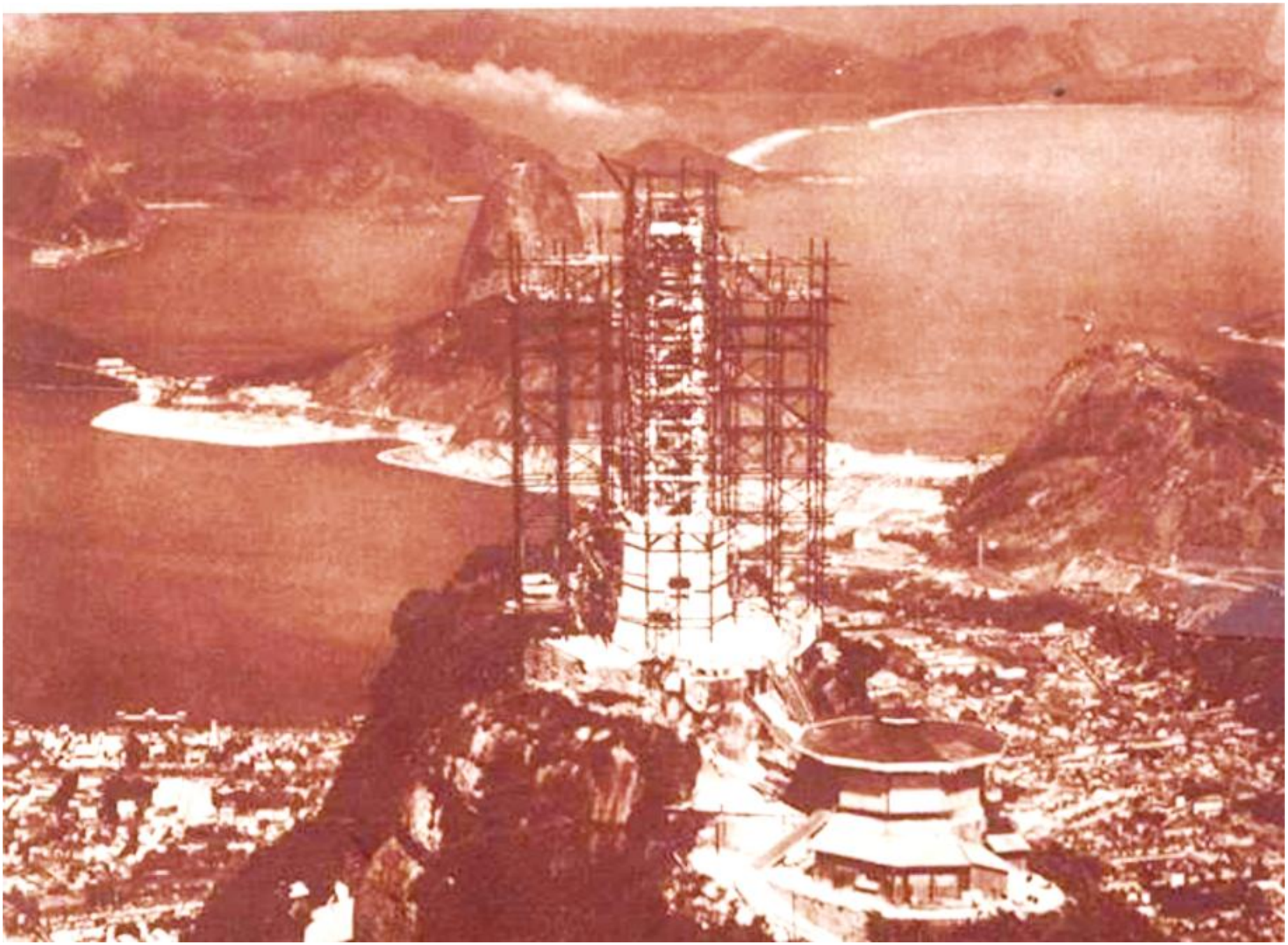
O CRUZEIRO

http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=003581&pasta=ano%20193&pesq=CRISTO%20REDENTOR



1931 - CORCOVADO E PÃO DE AÇUCAR

O Cruzeiro



+++