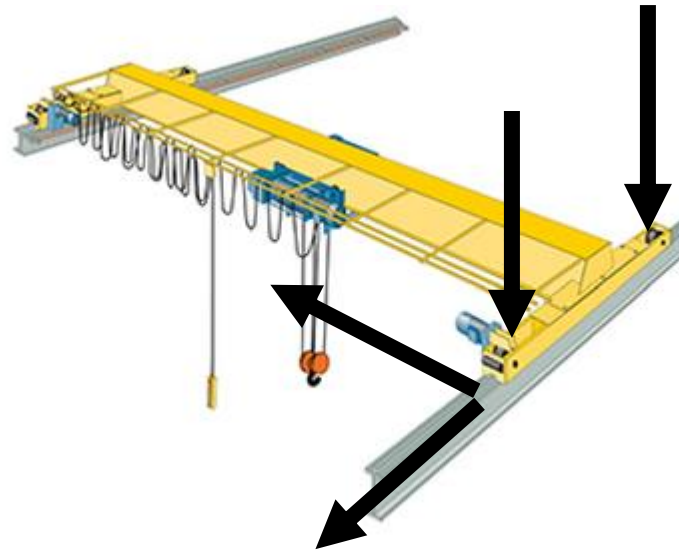


VIGAS DE ROLAMENTO DE PONTES ROLANTES

FADIGA

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Vigas de rolamento



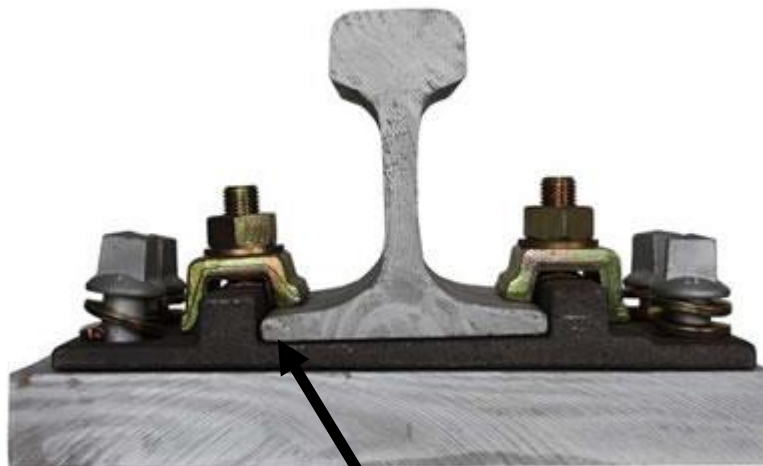
Devem ser dimensionadas às forças verticais, horizontais longitudinais, e horizontais transversais

Trilhos e sistemas de fixação



Sistema flutuante
FLOATING CLAMPS

AISE nº 13 Recomenda seu uso para pontes de regime pesado (em especial siderurgia)
Recomenda-se usar com chapa de desgaste entre o trilho e a mesa superior da viga de rolamento



Sistem fixo: Grapas ou grampos

Recomendado para todas as outras aplicações.

Trilhos e sistemas de fixação



Barra quadrada maciça

Soldada diretamente às mesas da viga de rolamento

Emendas de trilhos

Enviar com o maior comprimento possível (12m)

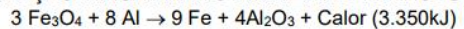
Para Trilhos de pontes rolantes siderúrgicas é comum a utilização de solda aluminotérmica



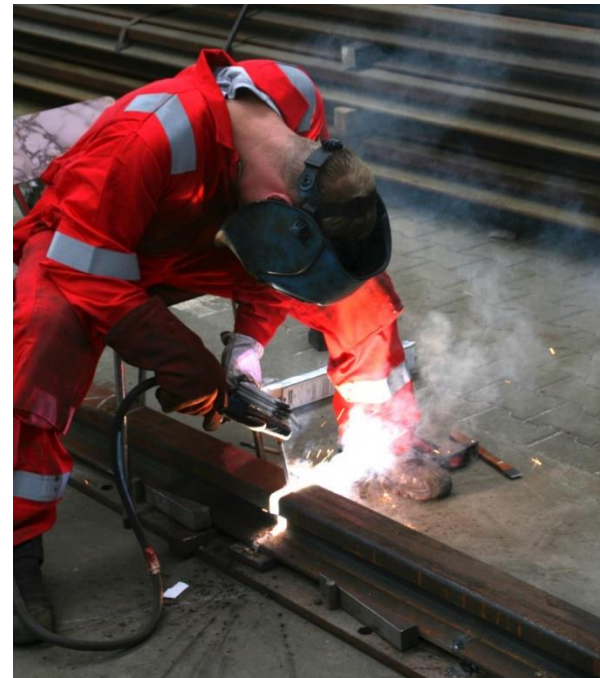
Solda aluminotérmica

A solda aluminotérmica é aplicada também para a soldagem de juntas nas vias férreas. Para executar a soldagem aluminotérmica de trilhos, os topos destes devem apresentar uma folga pré-determinada, em função do processo utilizado, bem como ser envolvidos por fôrmas pré-fabricadas. Após o assentamento e vedação das fôrmas com massa refratária, faz-se um pré-aquecimento com maçarico específico posicionado de tal forma, que a chama penetre no topo da junta. O aço produzido em cadinho refratário, a temperaturas acima de 2000°C, é conduzido aos topos dos trilhos, dissolvendo-os e unindo-os de forma homogênea. Depois de 4 a 5 minutos as fôrmas são retiradas e o material excedente é rebarbado. Após o resfriamento a solda é esmerilhada de forma a reproduzir o perfil do trilho.

REAÇÃO TÍPICA PARA OS MATERIAIS FERROSOS



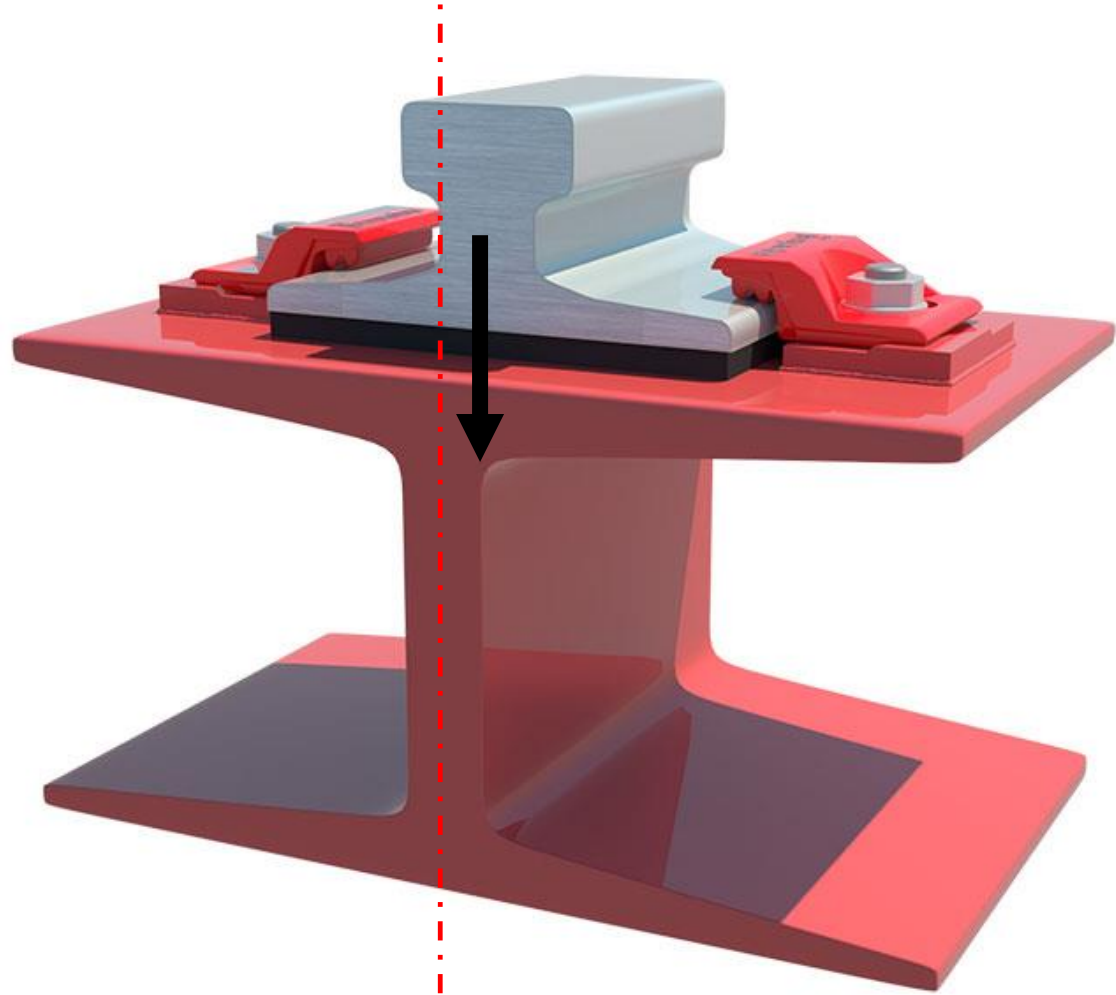
Montagem de um sistema para soldagem de trilhos



Pontes comuns utiliza-se solda de topo com contorno completo e esmerilhamento

Vigas de rolamento

Excentricidades: $0,75.t_w$



Vigas de rolamento

Flechas Admissíveis:

Verticais:

L/600 para pontes com capacidade < 200kN

L/800 para pontes com capacidades > 200kN

L/1000 para pontes rolantes siderúrgicas

Horizontais:

L/400 para pontes, exceto siderúrgicas

L/600 Para pontes siderúrgicas

Vigas de rolamento

Coeficientes de impacto e cargas horizontais

B.4.4 Pontes rolantes

Na ausência de especificação mais rigorosa, as ações verticais de cálculo (ver B.6) devem ser majoradas nos seguintes casos:

- a) pontes rolantes comandadas de uma cabine: 25 %;
- b) pontes rolantes comandadas por controle pendente ou controle remoto: 10 %.

B.7.2 Forças horizontais

As forças horizontais decorrentes da movimentação da ponte rolante, caso não haja especificação mais rigorosa, devem ser tomadas como a seguir.

- a) a força transversal ao caminho de rolamento, para pontes rolantes comandadas de uma cabine, a ser aplicada no topo do trilho, de cada lado, deve ser igual ao maior dos seguintes valores:
 - 10 % da soma da carga içada com o peso do trole e dos dispositivos de içamento;
 - 5 % da soma da carga içada com o peso total da ponte, incluindo trole e dispositivos de içamento;

Vigas de rolamento

Coeficientes de impacto e cargas horizontais

- uma porcentagem da carga içada, variável de acordo com o tipo e a finalidade da ponte ou da edificação:
 - nos edifícios em geral: 15 % da carga içada;
 - nos edifícios destinados à siderurgia ou nos quais condições específicas de operação assim exigirem:
 - pontes em geral: 20 % da carga içada;
 - pontes com caçamba e eletroíma e pontes de pátio de placas e tarugos: 50 % da carga içada;
 - pontes de forno-poço: 100 % da carga içada;
 - ponte estripadora: 100 % da soma do peso do lingote e da lingoteira.

Para pontes rolantes comandadas por controle pendente ou controle remoto, a força transversal ao caminho de rolamento a ser aplicada no topo do trilho, de cada lado, deve ser igual a 10 % da soma da carga içada com o peso do trole e dos dispositivos de içamento.

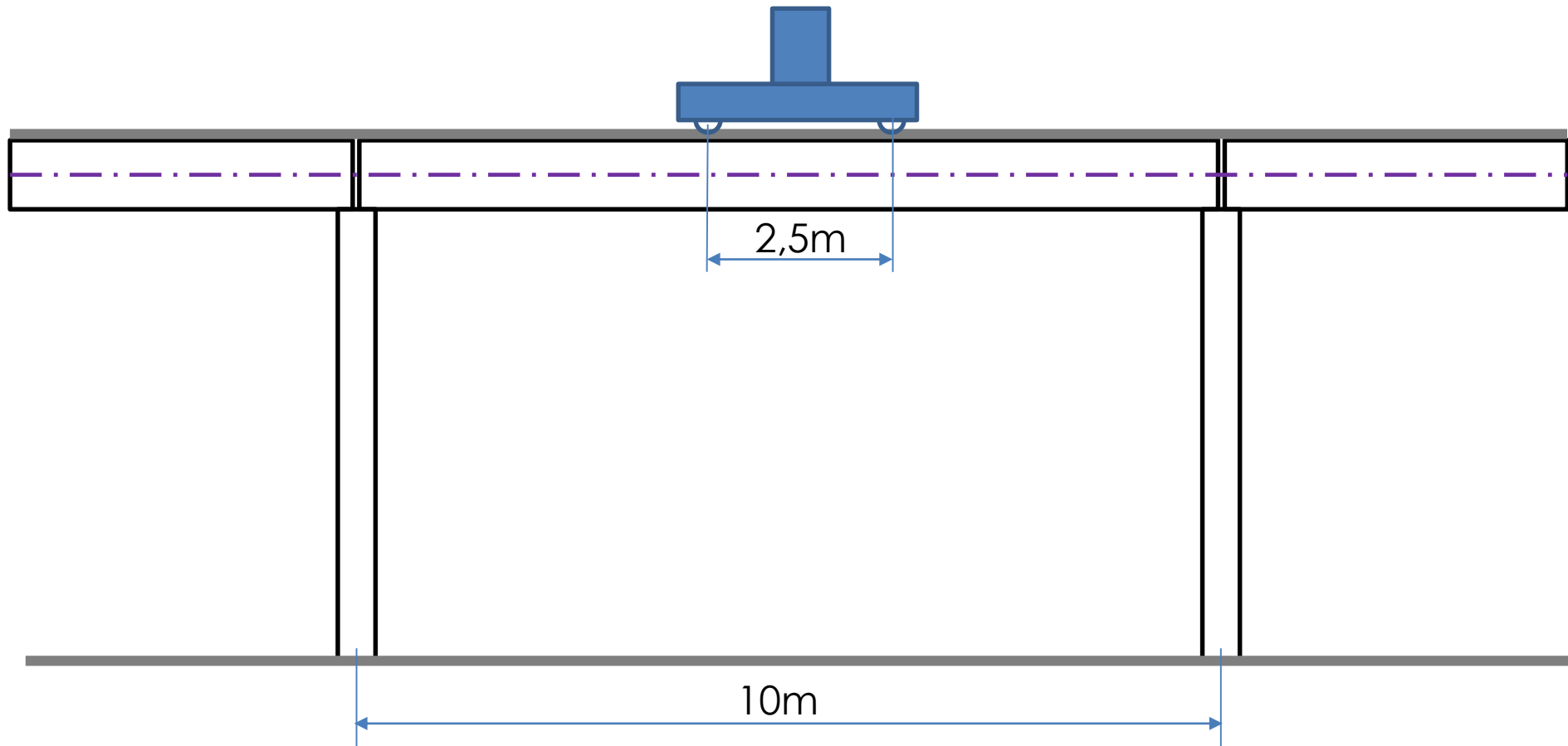
Nos casos em que a rigidez horizontal transversal da estrutura de um lado do caminho de rolamento diferir da do lado oposto, a distribuição das forças transversais deverá ser proporcional à rigidez de cada lado;

- b) a força longitudinal ao caminho de rolamento, a ser aplicada no topo do trilho, de cada lado, deve ser igual a 10 % da soma das cargas verticais máximas das rodas (não majoradas pelo impacto);
- c) a força devida ao choque da ponte rolante com o batente deve ser informada pelo fabricante, que também deve especificar e, se possível, fornecer o batente.

Exemplo: Verificar a viga de rolamento para ponte rolante de capacidade 10tf, com vão livre de 20m operada por controle pendente.

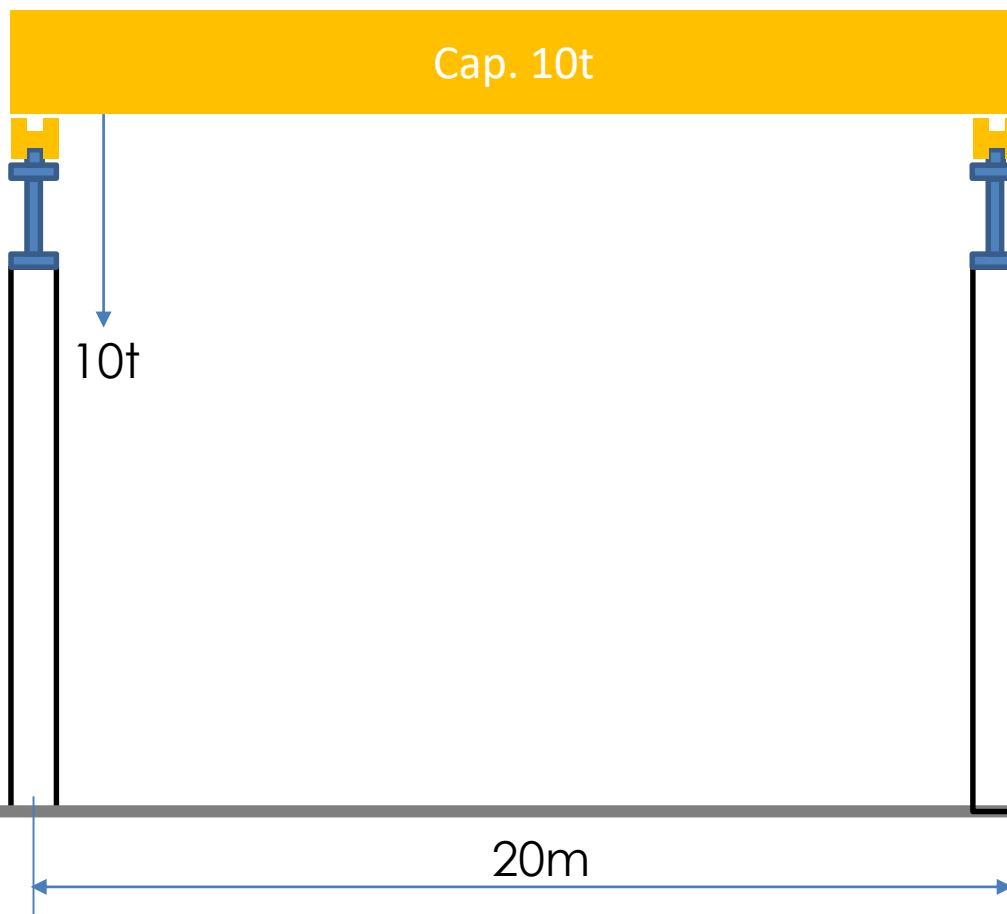
Peso do trole e dispositivos de içamento: 2tf

Peso da ponte rolante: 3,5 tf



Vigas de rolamento – Pré dimensionamento

Ponte Rolante		Trole		Viga de rolamento					
Capacidade de içamento (tf)	Vão livre (m)	Distância entre rodas (mm)	Reação vertical máx. por roda (tf)	Distância entre apoios (m)					
				5	6	7	8	10	12
2	10	3100	1,90	W 250 x 32,7	W 310 x 38,7	W 310 x 52,0	W 360 x 64,0	W 460 x 97,0	W 610 x 125,0
	14	3100	2,10	W 250 x 32,7	W 310 x 44,5	W 360 x 58,0	W 360 x 64,0	W 530 x 101,0	W 610 x 125,0
	18	3600	2,30	W 250 x 32,7	W 310 x 44,5	W 360 x 58,0	W 360 x 64,0	W 530 x 101,0	W 610 x 140,0
	22	3600	3,20	W 250 x 38,5	W 310 x 52,0	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0
	26	4200	3,50	W 250 x 38,5	W 310 x 52,0	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0
3,2	10	3100	3,20	W 250 x 44,8	W 360 x 58,0	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0
	14	3100	3,40	W 250 x 44,8	W 360 x 58,0	W 360 x 64,0	W 460 x 89,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0
	18	3600	3,90	W 250 x 44,8	W 360 x 58,0	W 360 x 64,0	W 460 x 97,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0
	22	3600	4,50	W 250 x 44,8	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 530 x 101,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0
	26	4200	5,10	W 250 x 44,8	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 530 x 101,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0
5	8	2400	2,90	W 310 x 52,0	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 530 x 109,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0
	12	2800	3,23	W 310 x 52,0	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 530 x 109,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0
	16	3200	3,52	W 310 x 52,0	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 530 x 109,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0
	20	3200	3,95	W 310 x 52,0	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 530 x 109,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0
	24	3400	4,35	W 310 x 52,0	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 530 x 109,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0
6,3	8	2400	3,66	W 410 x 60,0	W 360 x 64,0	W 530 x 109,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0
	12	2800	3,88	W 410 x 60,0	W 360 x 64,0	W 530 x 109,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0
	16	3200	4,26	W 410 x 60,0	W 360 x 64,0	W 530 x 109,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0
	20	3200	4,60	W 410 x 60,0	W 360 x 64,0	W 530 x 109,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0
	24	3400	5,15	W 410 x 60,0	W 360 x 64,0	W 530 x 109,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0
8	12	2800	4,83	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 610 x 113,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0
	16	3200	5,20	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 610 x 113,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0
	20	3200	5,65	W 360 x 64,0	W 360 x 79,0	W 610 x 113,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0
	24	3400	6,55	W 360 x 72,0	W 360 x 79,0	W 610 x 113,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	
10	8	2400	5,35	W 360 x 72,0	W 610 x 113,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	
	12	2800	5,80	W 360 x 72,0	W 610 x 113,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	
	16	3200	6,25	W 360 x 72,0	W 610 x 113,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	
	20	3200	6,70	W 360 x 72,0	W 610 x 113,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	
	24	3400	7,56	W 360 x 72,0	W 610 x 113,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	
12,5	10	3100	7,90	W 360 x 72,0	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
	14	3100	8,60	W 360 x 72,0	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
	18	3600	9,20	W 360 x 79,0	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
	22	3600	9,90	W 360 x 79,0	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
	26	4200	10,7	W 360 x 79,0	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
13	8	2800	6,80	W 360 x 79,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
	12	2800	7,40	W 360 x 79,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
	16	3200	7,95	W 360 x 79,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
	20	3200	8,40	W 360 x 79,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
	24	3400	9,34	W 360 x 79,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0	
15	10	3100	9,90	W 360 x 79,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
	14	3100	10,70	W 460 x 97,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
	18	3600	11,40	W 460 x 97,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
	22	3600	12,40	W 460 x 97,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
	26	4200	13,20	W 460 x 97,0	W 610 x 125,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
16	8	2800	8,48	W 530 x 101,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
	12	2800	9,20	W 530 x 101,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
	16	3200	9,79	W 530 x 101,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
	20	3200	10,50	W 530 x 101,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
	24	3400	11,20	W 530 x 101,0	W 610 x 140,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0		
20	8	2800	10,40	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0		
	12	2800	11,10	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0		
	16	3200	11,80	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0		
	20	3200	12,60	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0		
	24	3400	13,30	W 610 x 113,0	W 610 x 155,0	W 610 x 155,0	W 610 x 174,0		

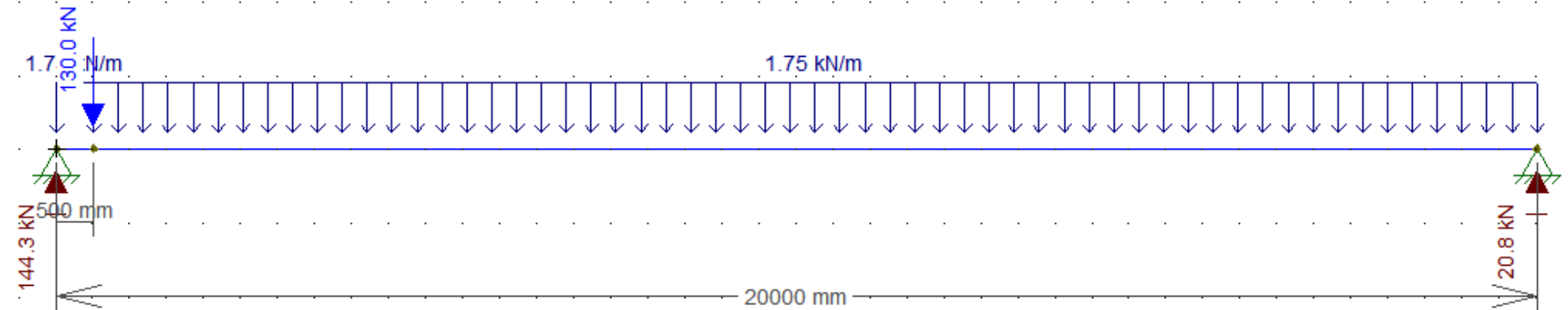


Obter as reações de apoio no Ftool (ELU)

Carga Permanente Viga da Ponte = $35/20 = 1,75 \text{ kN/m}$

Carga Permanente Trole + Dispositivos de Içamento: 20 kN

Carga Variável: 100 kN (+10% Coeficiente de Impacto) = 110 kN



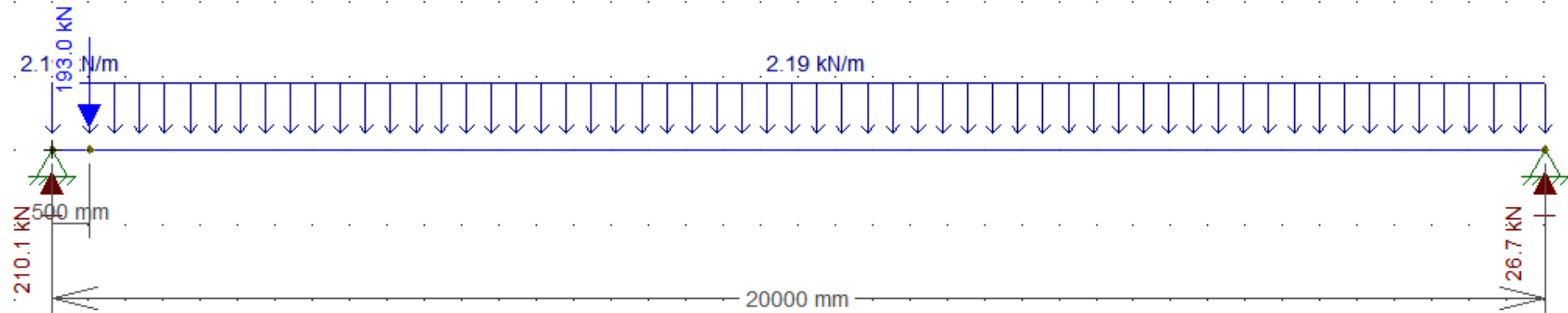
Reação de Apoio por Roda: $R_v = 144,3 / 2 = 72,15 \text{ kN}$

Obter as reações de apoio no Ftool (ELS)

Carga Permanente Viga da Ponte = $1,25 \cdot 35/20 = 2,19 \text{ kN/m}$

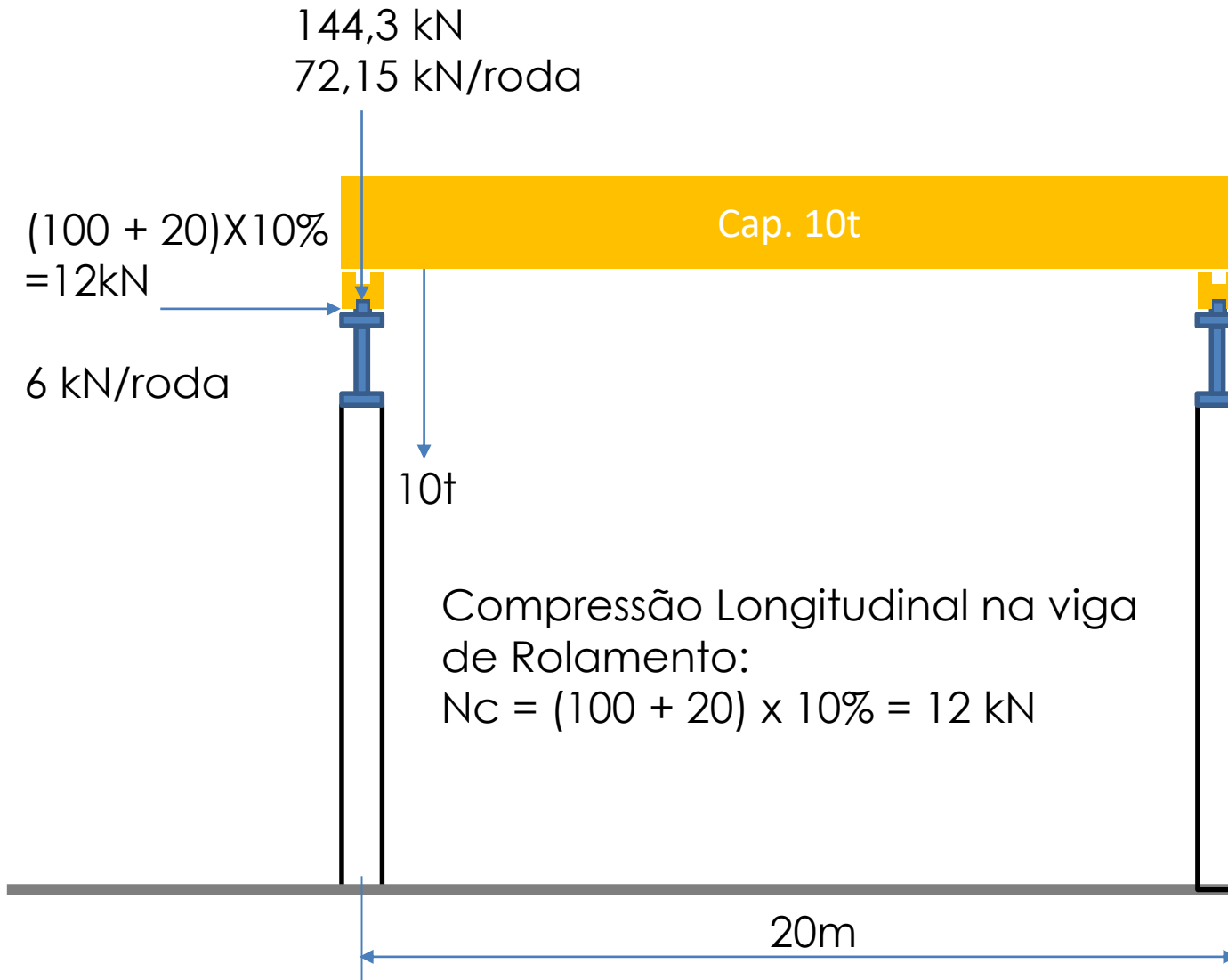
Carga Permanente Trole + Dispositivos de Içamento: $1,40 \cdot 20 \text{ kN} = 28 \text{ kN}$

Carga Variável: $1,5 \cdot 100 \text{ kN (+10\% Coeficiente de Impacto)} = 150 \text{ kN} + 15 \text{ kN} = 165 \text{ kN}$

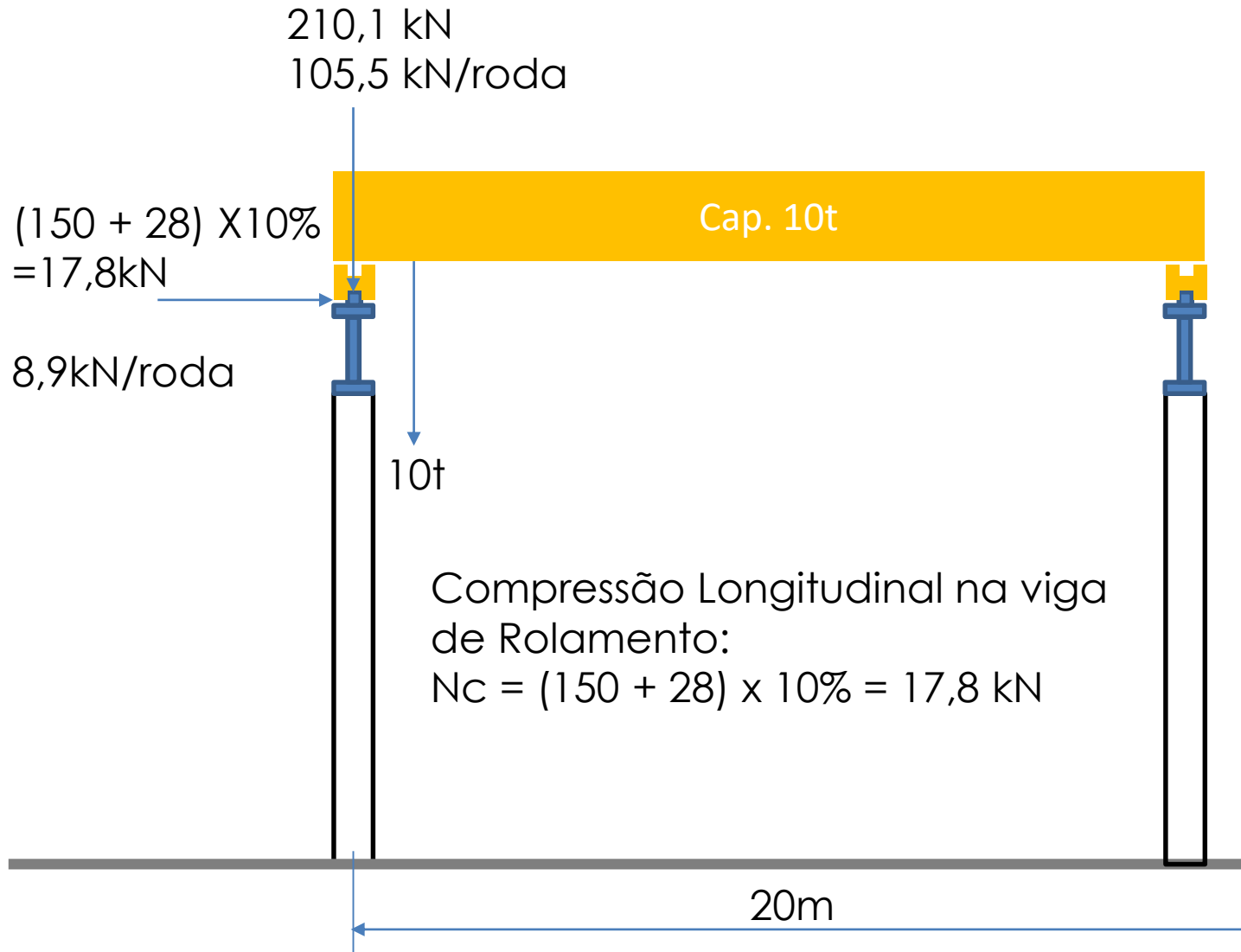


Reação de Apoio por Roda: $R_v = 210,1 / 2 = 105,05 \text{ kN}$

Extraem-se as reações horizontais e verticais para ELS

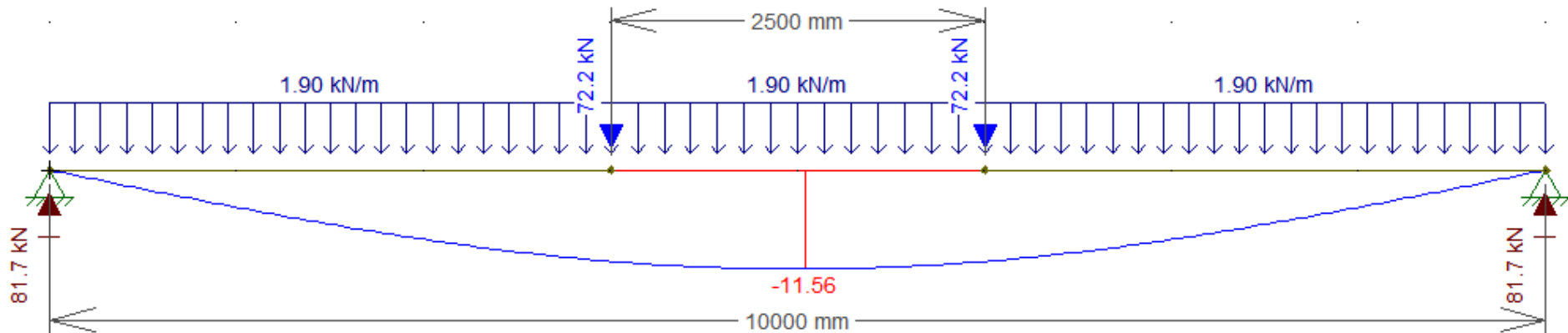


Extraem-se as reações horizontais e verticais para ELU



Verificações ELS – Cargas verticais – Rodas ao Centro

Cargas Permanentes: Peso da Viga = 1,55 kN/m + 0,35 kN/m = 1,90 kN/m



Section Properties

Perfil

Gerda-AcoMinas I-shapes (BR)

type: I shape

d: 610.00 mm

W610x155.0

5

d: 611.00	bf: 324.00 mm
tw: 12.70	tf: 19.00 mm
h: 573.00	d': 541.00 mm

y: 305.50 mm

A: 198.10 cm²

As: 77.60 cm²

I: 129583.00 cm⁴

Flechas Admissíveis:

Verticais:

L/600 para pontes com capacidade < 200 kN

L/800 para pontes com capacidades > 200 kN

L/1000 para pontes rolantes siderúrgicas

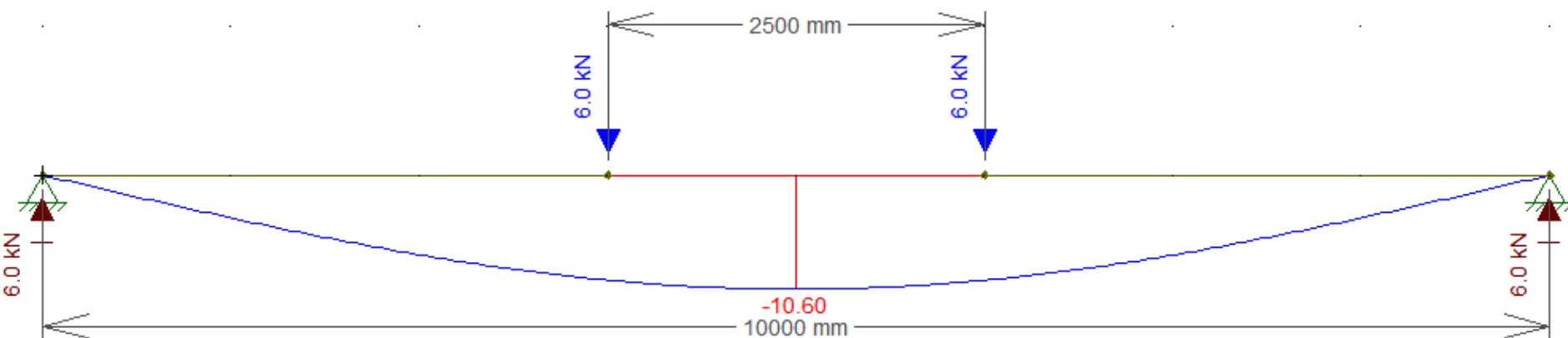
Horizontais:

L/400 para pontes, exceto siderúrgicas

L/600 Para pontes siderúrgicas

$$\frac{L}{600} = \frac{10000}{600} = 16,67 \text{ mm}$$

Verificações ELS – Cargas Horizontais – Rodas ao Centro



Section Properties

Perfil

Gerdau-AcoMinas I-shapes (BR)

type: I shape

d: 610.00 mm

W610x155.0

d: 611.00 mm
tw: 12.70 mm
h: 573.00 mm

bf: 324.00 mm
tf: 19.00 mm
d': 541.00 mm

Flechas Admissíveis:

Verticais:

L/600 para pontes com capacidade < 200 kN

L/800 para pontes com capacidades > 200 kN

L/1000 para pontes rolantes siderúrgicas

Horizontais:

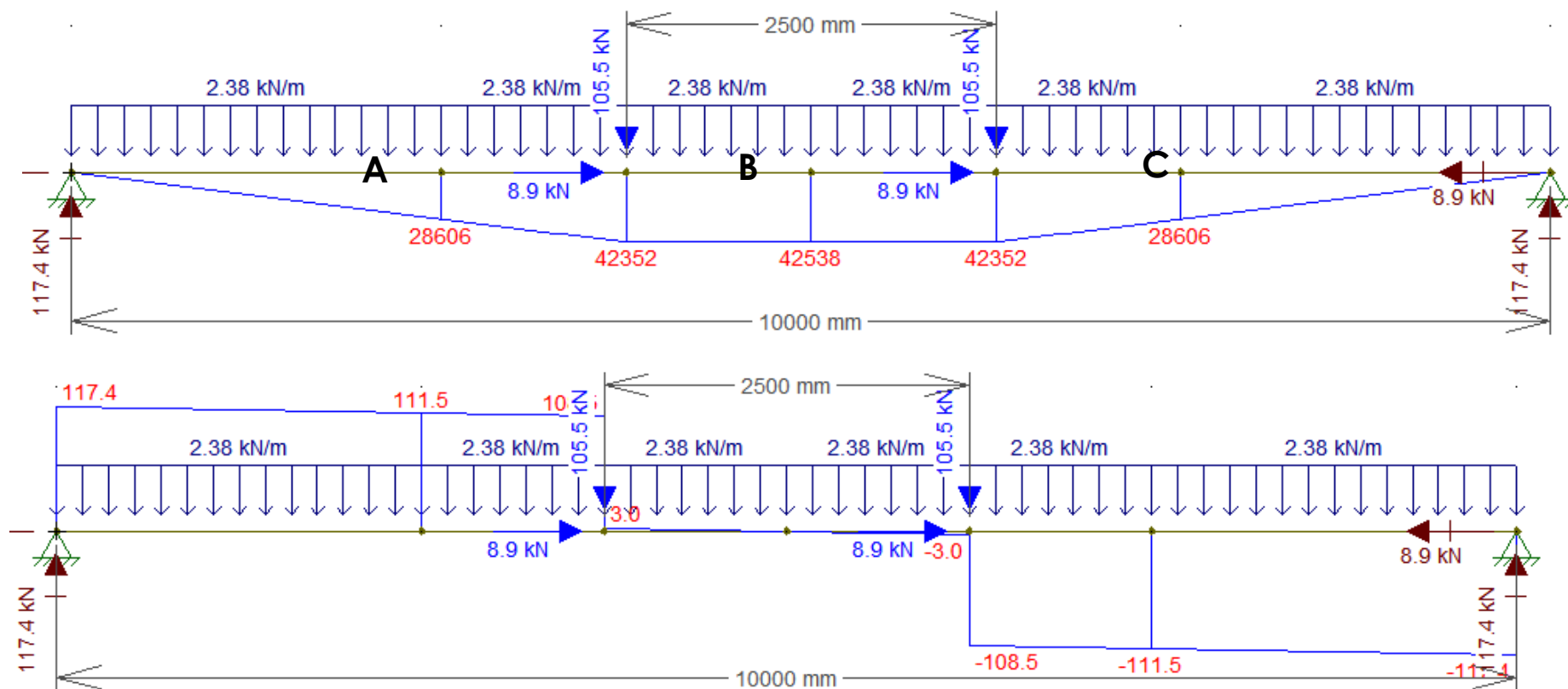
L/400 para pontes, exceto siderúrgicas

L/600 Para pontes siderúrgicas

$$\frac{L}{400} = \frac{10000}{400} = 25mm$$

Verificações ELU – Cargas verticais – Rodas ao Centro

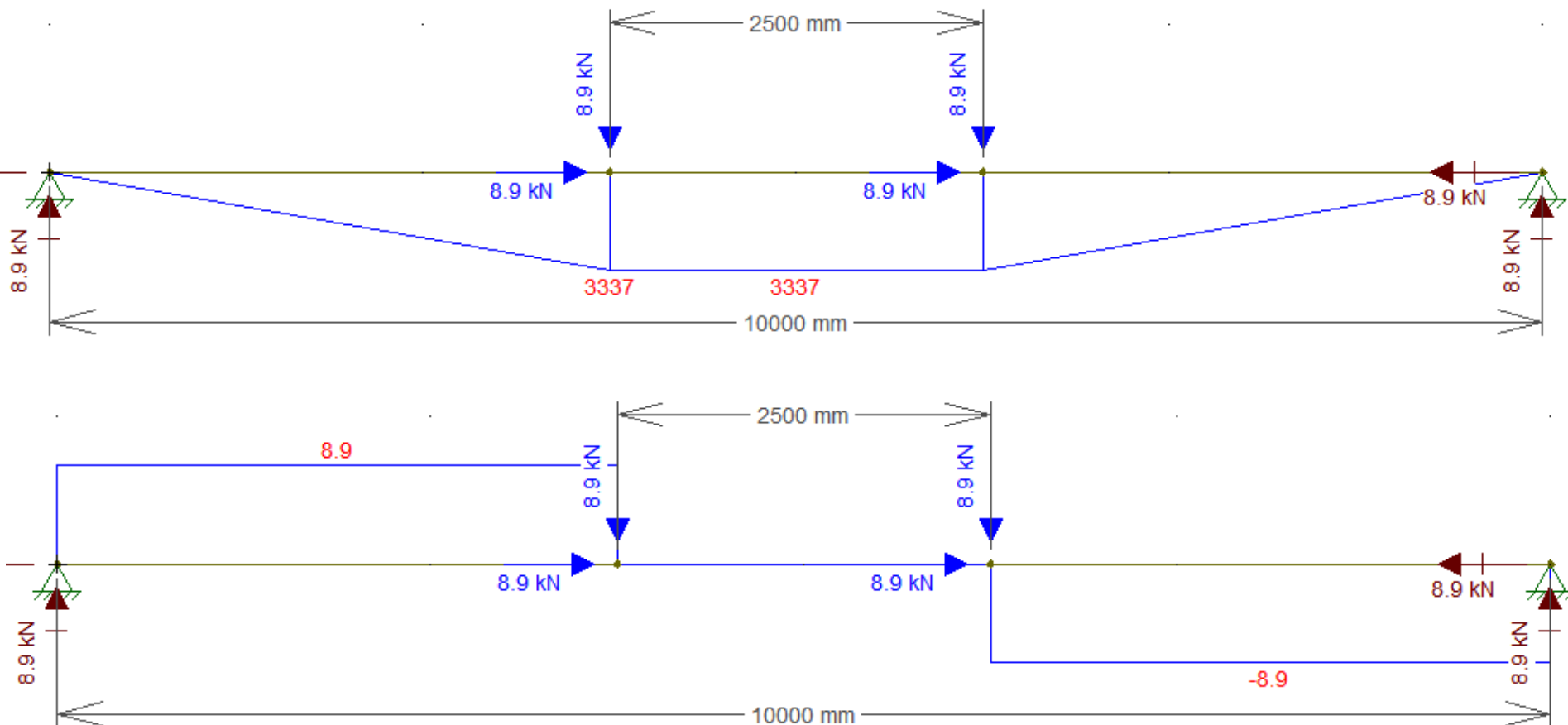
Cargas Permanentes: Peso da Viga = $1,25 \cdot (1,55 \text{ kN/m} + 0,35 \text{ kN/m}) = 2,38 \text{ kN/m}$



$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = \frac{12,5 \cdot 42538}{2,5 \cdot 42538 + 3 \cdot 28606 + 4 \cdot 42538 + 3 \cdot 28606}$$

$$C_b = 1,227$$

Verificações ELU – Cargas Horizontais – Rodas ao Centro



Verificações ELU – Cargas ao centro

Resistência à Compressão Axial

Esbeltez à compressão $\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{1 \cdot 1000}{25,58} = 39,09 < 200 \text{ OK}$

$$\lambda_y = \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 1000}{7,38} = 135,5 < 200 \text{ OK}$$

Flambagem Local

Mesa: $\frac{b_f}{2t_f} = 8,53$ $\frac{b}{t} \text{Lim} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\frac{b}{t} \text{Lim} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 13,48$

Alma: $\frac{d'}{t_w} = 42,60$ $\frac{b}{t} \text{Lim} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\frac{b}{t} \text{Lim} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 35,87$

$$B_{ef} = 1,92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \cdot \left[1 - \frac{c_a}{\left(\frac{b}{t}\right)} \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] = 1,92 \cdot 1,27 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34,5}} \cdot \left[1 - \frac{0,34}{42,60} \cdot \sqrt{\frac{20000}{34,5}} \right] = 47,42 \text{ cm}$$

$$Q_a = \frac{B_{ef}}{d'} = \frac{47,42}{54,1} = 0,876$$

$$Q = Q_a \cdot Q_s = 0,876 \cdot 1 = 0,876$$

Verificações ELU – Cargas ao centro

Resistência à Compressão Axial

Flambagem Global

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(k_x \cdot L_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 129583}{(1 \cdot 1000)^2} = 25578 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(k_y \cdot L_y)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 10783}{(1 \cdot 1000)^2} = 2128,5 \text{ kN}$$

$$r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 = 25,58^2 + 7,38^2 = 708,80 \text{ cm}$$

$$N_{ez} = \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(k_z \cdot L_z)^2} + G \cdot I_t \right) \cdot \frac{1}{r_0^2} = \left(\frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 9436714}{(1 \cdot 1000)^2} + 7700 \cdot 200,77 \right) \cdot \frac{1}{708,80} = 4809 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{0,876 \cdot 198,134,5}{2128,5}} = 1,6771 \quad \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} = \frac{0,877}{1,6771^2} = 0,312$$

$$N_c, Rd = \frac{Q \cdot \chi \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,876 \cdot 0,312 \cdot 198,134,5}{1,1} = 1698,12 \text{ kN} > 17,8 \text{ OK!}$$

Verificações *ELU* – Cargas ao centro

Resistência ao Esforço Cortante na direção Y

$$\lambda = \frac{d'}{t_w} = 42,60 \quad \lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5.20000}{34,5}} = 59,22$$

$$V_{Rd} = \frac{0,60 \cdot A_w \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,60 \cdot h \cdot t_w \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,60 \cdot 61,1 \cdot 27.34,5}{1,1} = 1460,23 > 117,4 \text{ OK}$$

Resistência ao Esforço Cortante na direção X

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = 8,53 \quad \lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{1,2.20000}{34,5}} = 29$$

$$V_{Rd} = \frac{0,60 \cdot A_w \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,60 \cdot 2 \cdot B_f \cdot t_f \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,60 \cdot 2 \cdot 32,4 \cdot 1,9.34,5}{1,1} = 2316 > 8,9 \text{ OK}$$

Verificações ELU – Cargas ao centro

Resistência ao Momento Fletor em torno de X-X

$$\lambda_{FLT} = \frac{L_b}{r_y} = \frac{1000}{7,38} = 135,50 \quad \lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 42,37 \quad \text{Calcular } L_r$$

$$\beta_1 = \frac{(F_y - 0,3F_y) \cdot W_x}{E \cdot I_t} = \frac{(34,5 - 0,3 \cdot 34,5) \cdot 4241}{20000 \cdot 200,77} = 0,0255$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \cdot \sqrt{I_y \cdot I_t}}{r_y \cdot I_t \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \cdot \sqrt{10783 \cdot 200,77}}{7,38 \cdot 200,77 \cdot 0,0255} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot 9436714 \cdot 0,0255^2}{10783}}} = 120,71 \quad M_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,0039 \cdot I_t \cdot \frac{L_b^2}{C_w} \right)}$$

$$M_{cr} = \frac{1,227 \cdot \pi^2 \cdot 20000 \cdot 10783}{1000^2} \cdot \sqrt{\frac{9436714}{10783} \left(1 + 0,0039 \cdot 200,77 \cdot \frac{1000^2}{9436714} \right)} = 80401 \text{ kNcm}$$

$$M_{RdFLT} = \frac{M_{cr}}{1,1} = \frac{80401}{1,1} = 73091 \text{ kN.cm} > 42538 \text{ OK}$$

Verificações *ELU* – Cargas ao centro

Resistência ao Momento Fletor em torno de X-X

$$\lambda_{FLM} = \frac{B_f}{2t_f} = 8,53 < 9,26 \text{ Seção Compacta}$$

$$\lambda_{FLA} = \frac{d'}{t_w} = 42,60 < 92 \text{ Seção Compacta}$$

$$M_{P-Rd} = \frac{Z_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{4749,1 \cdot 34,5}{1,1} = 148949 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd} = M_{RdFLT} = 73091 \text{ kN.cm} > 42538 \text{ OK}$$

Verificações ELU – Cargas ao centro

Resistência ao Momento Fletor em torno de Y-Y

$$\lambda_{FLM} = \frac{B_f}{2t_f} = 8,53 < 9,26 \text{ Seção Compacta}$$

$$M_{P-Rd} = \frac{Z_y \cdot F_y}{1,1} = \frac{1022,6 \cdot 34,5}{1,1} = 32072 \text{ kN.cm} > 3337 \text{ kN.cm OK}$$

Verificação Quanto Aos Esforços Combinados

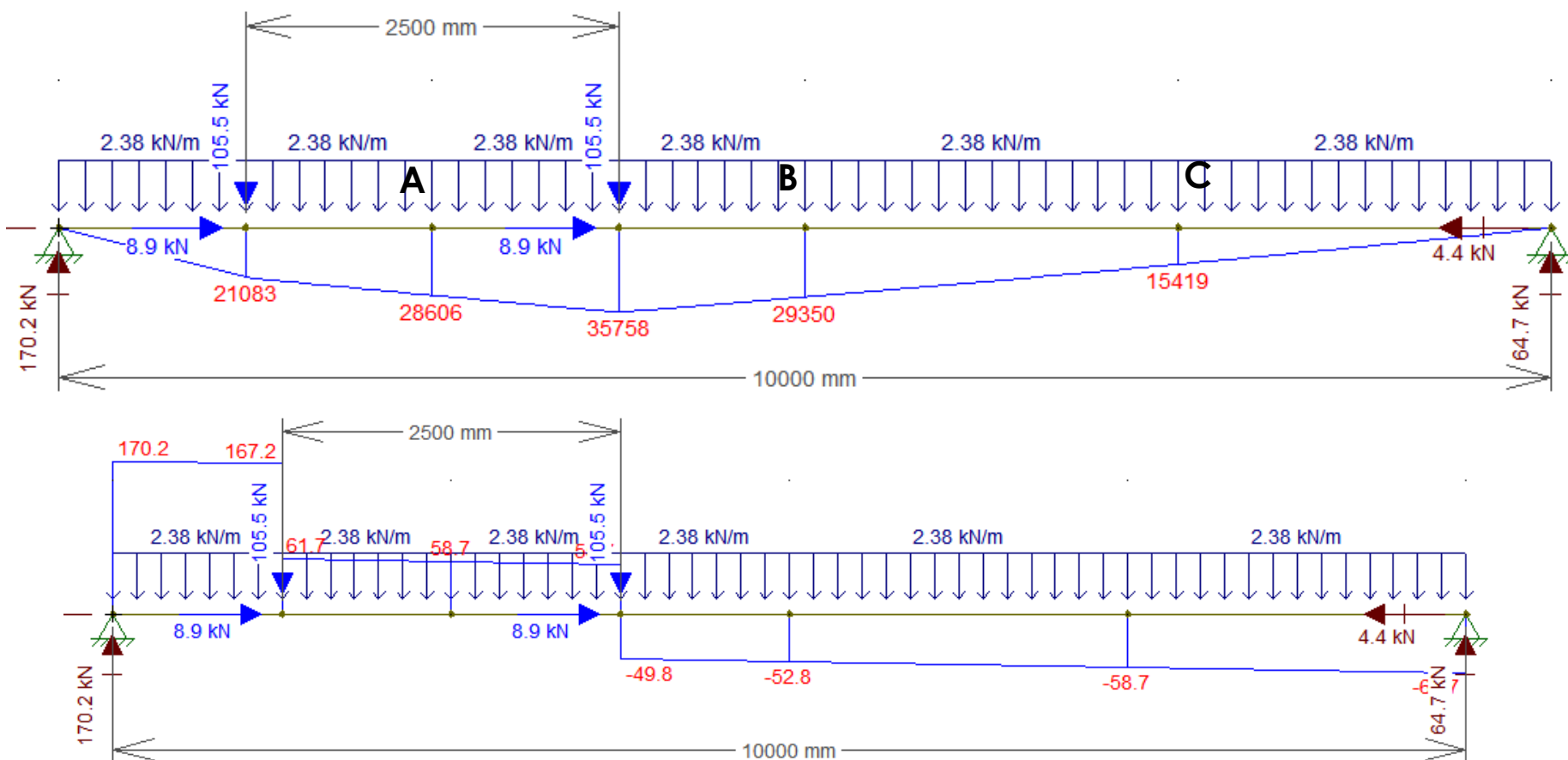
$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{17,8}{1698,12} = 0,0105 < 0,20$$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{xSd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{y,Rd}} \right) = \frac{17,8}{2 \cdot 1698,12} + \frac{8}{9} \left(\frac{42538}{73091} + \frac{3337}{32072} \right) = 0,615 < 1,0 \text{ OK!}$$

Perfil Aprovado às Verificações ELU para as cargas no centro

Verificações ELU – Cargas verticais – Rodas deslocadas a ¼ da viga

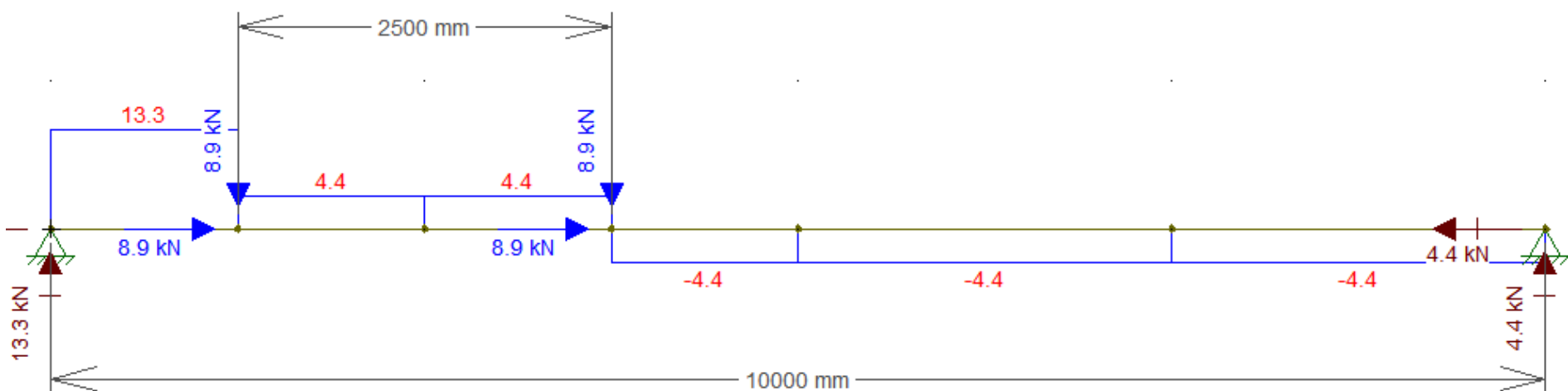
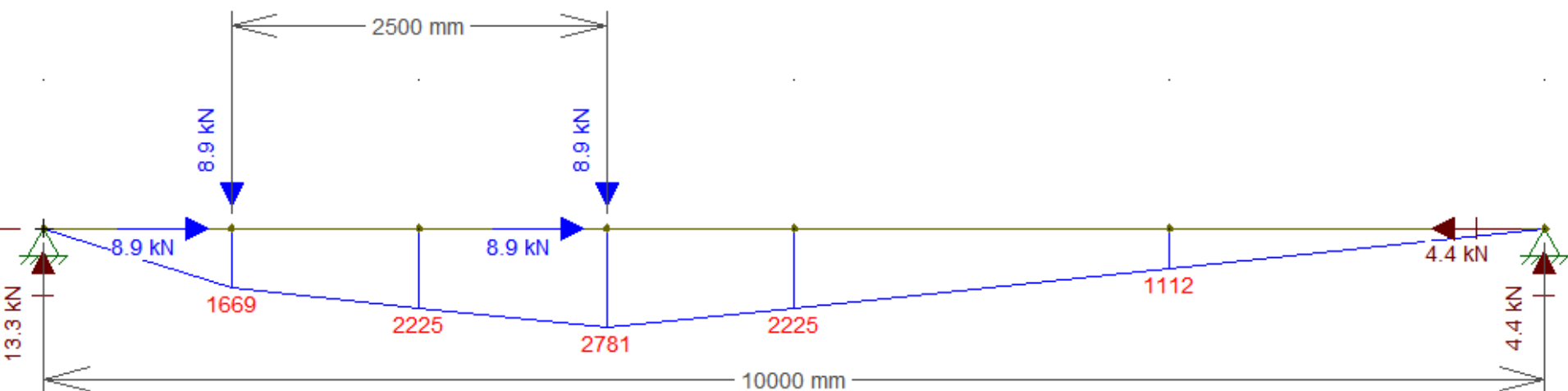
Cargas Permanentes: Peso da Viga = $1,25 \cdot (1,55 \text{ kN/m} + 0,35 \text{ kN/m}) = 2,38 \text{ kN/m}$



$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = \frac{12,5 \cdot 35758}{2,5 \cdot 35758 + 3 \cdot 28606 + 4 \cdot 29350 + 3 \cdot 15419}$$

$$C_b = 1,32$$

Verificações ELU – Cargas Horizontais – Rodas Deslocadas a $\frac{1}{4}$ da viga



Verificações ELU – Cargas deslocadas a 1/4 da viga

Resistência à Compressão Axial

Já Verificado: $N_{sd} = 17,8 \text{ kN}$, $N_{Rd} = 1698,12 \text{ kN}$

Resistência à Cortante na Direção Y

Já Verificado: $V_{ySd} = 170,2 \text{ kN}$, $N_{Rd} = 1460,23 \text{ kN}$

Resistência à Cortante na Direção X

Já Verificado: $V_{xSd} = 13,3 \text{ kN}$, $N_{Rd} = 2316 \text{ kN}$

Resistência à Flexão em torno de X-X

$$M_{Rd} = M_{RdFLT} = \frac{73091}{1,227} \cdot 1,32 = 78630 \text{ kN.cm} > 35758 \text{ OK}$$

Resistência à Flexão em torno de Y-Y

$$M_{Rd} = M_{RdFLT} = 32072 \text{ kN.cm} > 2781 \text{ OK}$$

Verificação Quanto Aos Esforços Combinados

$$\frac{N_{sd}}{N_{Rd}} = \frac{17,8}{1698,12} = 0,0105 < 0,20$$

$$\frac{N_{sd}}{2N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{xSd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{y,Rd}} \right) = \frac{17,8}{2 \cdot 1698,12} + \frac{8}{9} \left(\frac{35758}{78630} + \frac{2781}{32072} \right) = 0,49 < 1,0 \text{ OK!}$$

Verificação ELU Caso 1 – Rodas ao centro

Resultado:

67,8%

W 610 x 155,0					
d(mm)	611	Wx(cm²)	4241,7	rx(cm)	25,58
bf(mm)	324	Wy(cm²)	665,6	ry(cm)	7,38
d'(mm)	541	Zx(cm³)	4749,1	Área(cm²)	198,1
tw(mm)	12,7	Zy(cm³)	1022,6	ho/tw	42,6
tf(mm)	19	Ix(cm⁴)	129583	b/tf	8,5
h(mm)	573	Iy(cm⁴)	10783	Peso (kg/m)	155,0

Limite: 36,3 Esbelta
Limite: 13,7 25,1 Compacta

1. Verificação da Esbeltez do perfil

Limite	Real	Status	%	
200	39	OK	19,5%	λx
200	136	OK	67,8%	λy

Listar Perfis que atendem

Perfil	Peso	%
W 310 x 117,0 (H)	117,00	90,22%
W 360 x 122,0 (H)	122,00	92,17%
HP 310 x 125,0 (H)	125,00	89,97%
W 610 x 155,0	155,00	67,75%
W 610 x 174,0	174,00	67,11%

Esforços e Distâncias	
Lx (mm)	10000
Ly (mm)	10000
N(kN)	-17,8
Vx(kN)	8,9
Vy(kN)	117,4
Mx(kN.cm)	42538
My(kN.cm)	3337
kx	1
ky	1
kz	1
d (mm)	0
Lb (mm)	10000

Cb	1,227
----	-------

Verificação ELU Caso 2 – Rodas Deslocadas

Resultado:

67,8%

W 610 x 155,0					
d(mm)	611	Wx(cm²)	4241,7	rx(cm)	25,58
bf(mm)	324	Wy(cm²)	665,6	ry(cm)	7,38
d'(mm)	541	Zx(cm³)	4749,1	Área(cm²)	198,1
tw(mm)	12,7	Zy(cm³)	1022,6	ho/tw	42,6
tf(mm)	19	Ix(cm4)	129583	b/tf	8,5
h(mm)	573	Iy(cm4)	10783	Peso (kg/m)	155,0

Limite: 36,3 Esbelta
Limite: 13,7 25,1 Compacta

1. Verificação da Esbeltez do perfil

Limite	Real	Status	%	
200	39	OK	19,5%	λx
200	136	OK	67,8%	λy

Listar Perfis que atendem

Perfil	Peso	%
W 310 x 97,0 (H)	97,00	99,29%
W 310 x 107,0 (H)	107,00	86,25%
HP 310 x 110,0 (H)	110,00	89,20%
W 360 x 110,0 (H)	110,00	98,12%
W 250 x 115,0 (H)	115,00	89,69%
W 310 x 117,0 (H)	117,00	75,85%
W 360 x 122,0 (H)	122,00	79,49%
HP 310 x 125,0 (H)	125,00	75,64%
W 610 x 140,0	140,00	99,60%
W 610 x 155,0	155,00	67,75%
W 610 x 174,0	174,00	67,11%

Esforços e Distâncias	
Lx (mm)	10000
Ly (mm)	10000
N(kN)	-17,8
Vx(kN)	13,3
Vy(kN)	170,2
Mx(kN.cm)	35758
My(kN.cm)	2781
kx	1
ky	1
kz	1
d (mm)	0
Lb (mm)	10000

Cb	1,227
----	-------

Fadiga

Peças sujeitas a diversos ciclos de repetição de variação de tensões no regime elástico estão sujeitas à fadiga

Exemplos: Pontes rolantes, rampas de estacionamento, vigas de suporte de elevadores, peças de máquinas, etc.

Fadiga

Prescrições do Anexo K da NBR8800/08

- Não é necessária verificação de fadiga para quantidade de ciclos inferior a 20.000 durante toda a vida útil da estrutura.
- Usa-se a combinação frequente de fadiga para avaliar as peças:

$$F_{d,Fad} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \Psi_1 \cdot \sum_{j=1}^n F_{Qj,k}$$

Para fadiga ver nota d

Tabela 2 — Valores dos fatores de combinação ψ_0 e de redução ψ_1 e ψ_2 para as ações variáveis

Ações		γ_{f2}^a		
		ψ_0	ψ_1^d	ψ_2^e
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^{b)}	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^{c)}	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

^a Ver alínea c) de 4.7.5.3.

^b Edificações residenciais de acesso restrito.

^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.

^d Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar ψ_1 igual a 1,0.

^e Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.

Fadiga

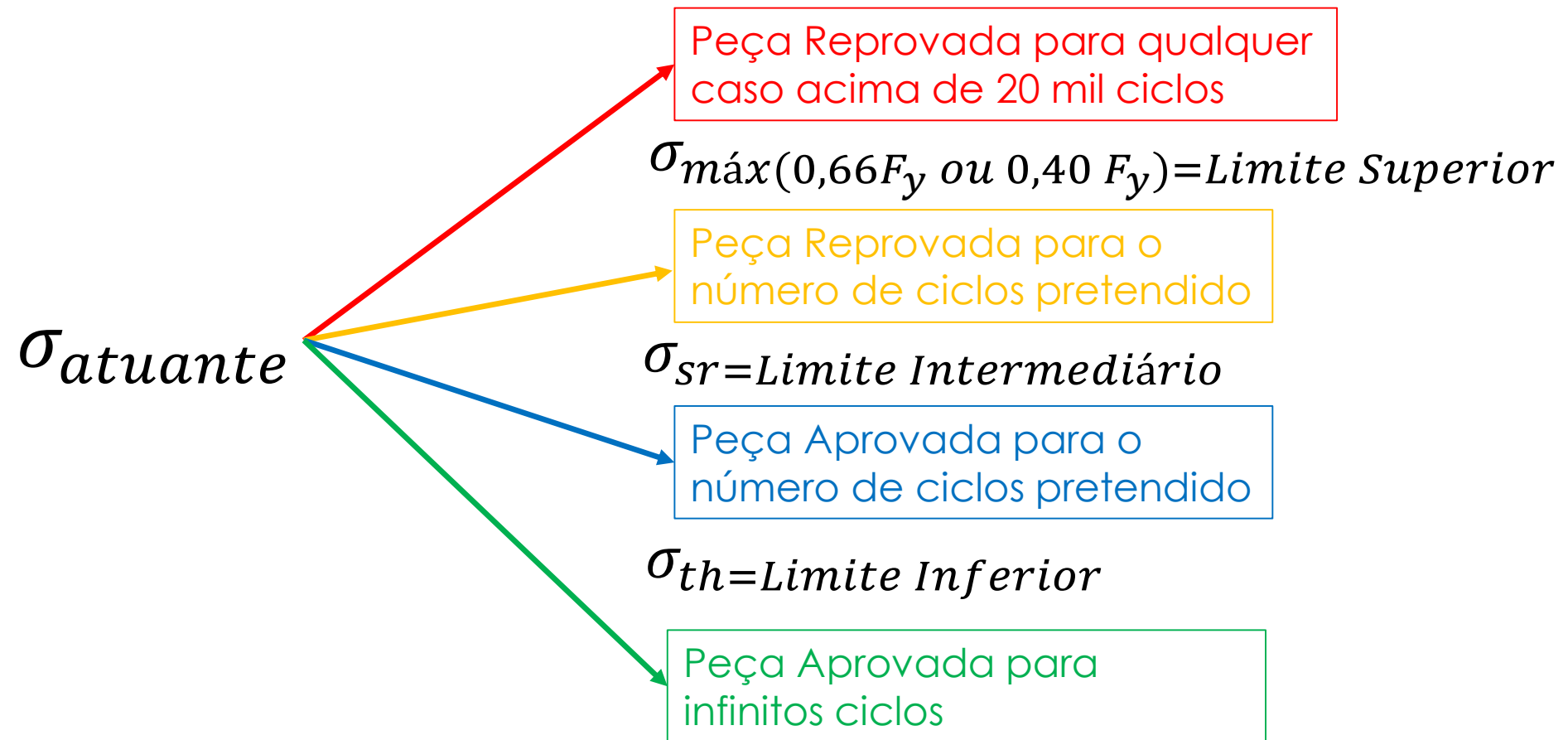
Prescrições do Anexo K da NBR8800/08

- As peças devem estar protegidas contra corrosão
- As peças devem estar submetidas à temperatura máxima de 150°C
- As soldas devem estar de acordo com as prescrições do AWS1.1
- Tensões locais não devem ultrapassar 0,66 f_y para tensões normais e 0,40 f_y para tensões de cisalhamento

Fadiga

Passo 1: Remover as majorações e calcular a tensão atuante

Passo 2: Obter σ_{th} e σ_{sr}



Parâmetros de Fadiga

Tabela K.2 – Detalhes construtivos relacionados aos parâmetros de fadiga

Seção 1 – Material-base afastado de qualquer solda

1.1 e 1.2



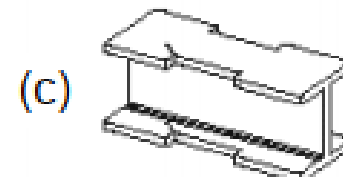
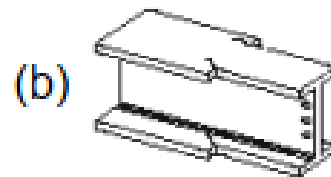
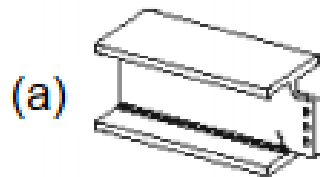
Tabela K.1 — Parâmetros de fadiga

Descrição	Categoria de tensão	Constante C_f	Limite σ_{TH} MPa	Ponto de início potencial de fissura
Seção 1 – Material-base afastado de qualquer solda				
1.1 Metal-base, exceto aços resistentes à corrosão atmosférica não pintados, com superfícies laminadas, sujeitas ou não à limpeza superficial. Bordas cortadas a maçarico com rugosidade superficial não superior a 25 μm , mas sem cantos reentrantes.	A	250×10^8	165	Afastado de qualquer solda ou ligação estrutural.
1.2 Metal-base de aço resistente à corrosão atmosférica não pintado, com superfícies laminadas, sujeitas ou não à limpeza superficial. Bordas cortadas a maçarico com rugosidade superficial não superior a 25 μm , mas sem cantos reentrantes.	B	120×10^8	110	Afastado de qualquer solda ou ligação estrutural.

$$\sigma_{SR} = \left(\frac{327 C_f}{N} \right)^{0,333} \geq \sigma_{TH}$$

Parâmetros de Fadiga

1.3



1.3 Peças com furos broqueados ou alargados. Peças com cantos reentrantes em recortes ou outras discontinuidades geométricas obedecendo aos requisitos de K.6, exceto aberturas para acesso de soldagem.	B	120×10^8	110	Em qualquer borda externa ou perímetro de abertura.
--	---	-------------------	-----	---

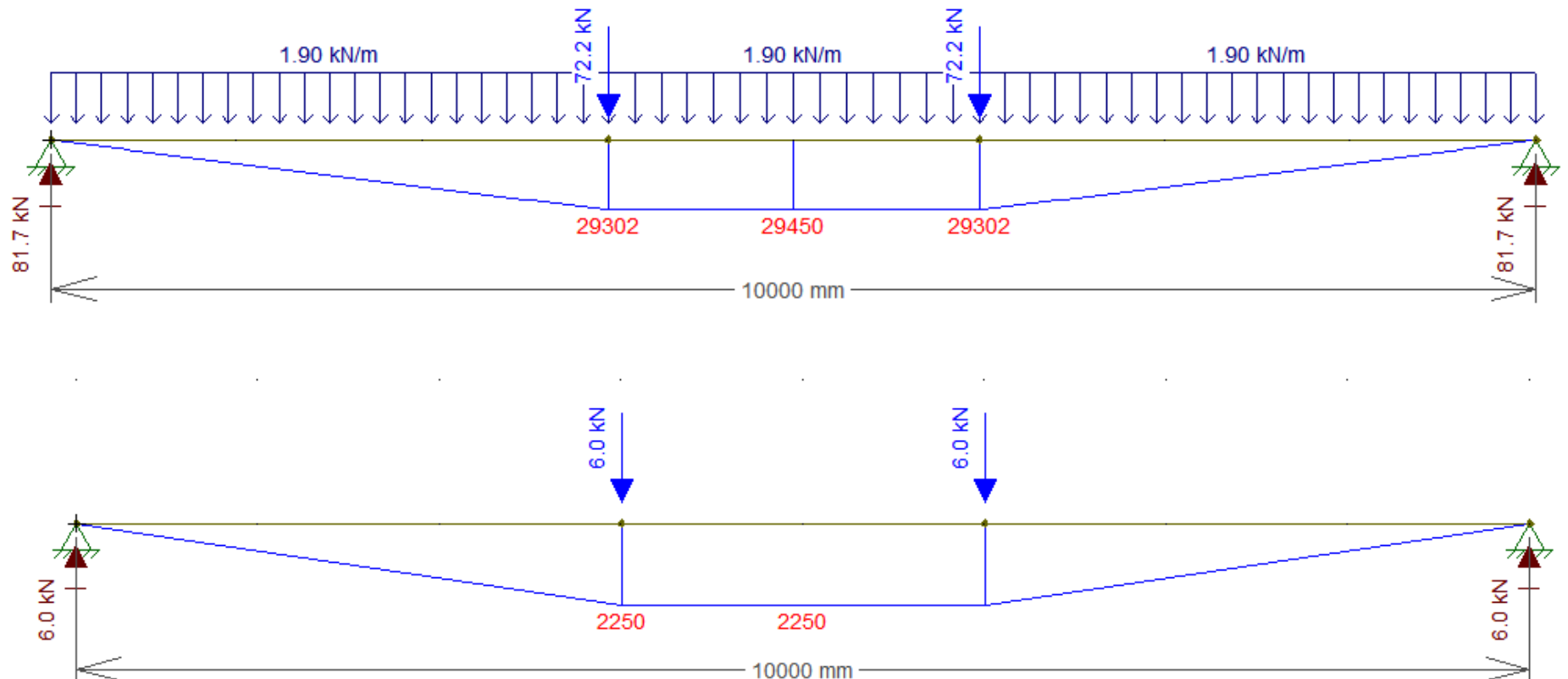
$$\sigma_{SR} = \left(\frac{327 C_f}{N} \right)^{0,333} \geq \sigma_{TH}$$

Verificação da fadiga

Estima-se 100 ciclos por dia em uma vida útil de 50 Anos

$$100 \times 365 \times 50 = 1.825.000 \text{ ciclos}$$

Esforços Atuantes

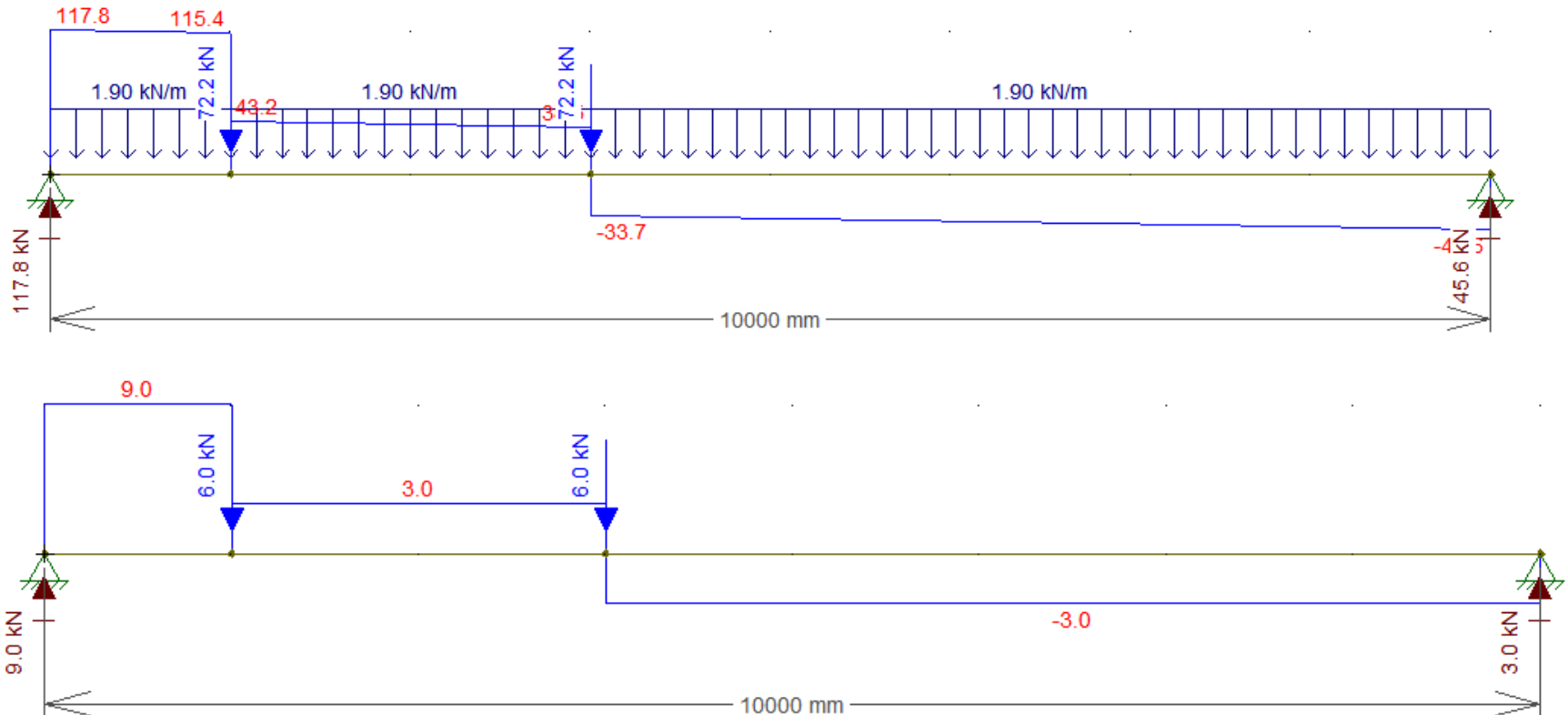


Verificação da fadiga

Estima-se 100 ciclos por dia em uma vida útil de 50 Anos

$$100 \times 365 \times 50 = 1.825.000 \text{ ciclos}$$

Esforços Atuantes



Verificação da fadiga

Tensão Axial Atuante:

$$\sigma_{Atuante} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} + \frac{N_c}{A_g} = \frac{29450}{4241,7} + \frac{2250}{665,6} + \frac{17,8}{198,1} = 10,41 \text{ kN/cm}^2$$

$$C_f = 120.10^8$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 0,66. F_y = 0,66.34,5 = 22,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{sr} = \left(\frac{327. C_f}{N} \right)^{0,333} = \left(\frac{327.120.10^8}{1825000} \right)^{0,333} = 128,4 \text{ Mpa} = 12,84 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{th} = 110 \text{ MPa} = 11 \text{ kN/cm}^2$$

Tensão Cortante:

$$\tau = \frac{\sqrt{(V_x^2 + V_y^2)}}{A_g} = \frac{\sqrt{(117,8^2 + 9^2)}}{198,1} = 0,596 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{max} = 0,4. F_y = 0,4.34,5 = 13,8 \text{ kN/cm}^2$$

Como a tensão atuante é menor que SigmaTH, Perfil Aprovado para Infinitos Ciclos