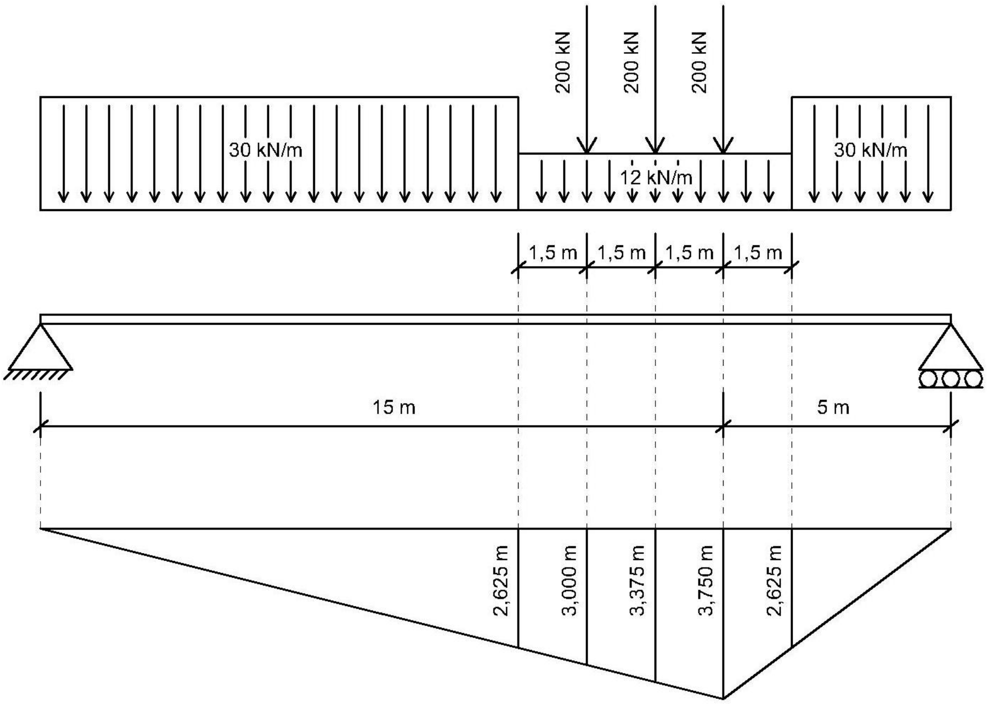
Q1)

RESPOSTA

Momento fletor na seção ¾ do vão

Posicionamento do TTL na linha de influência para valor máximo



Cálculo das ordenadas da linha de influência

x_0 = 15 m ; x'_0 = 5 m ; η_0 = 15.5/20 = 3,750 m

x_1 = 15 – 1,5 = 13,5 m ; η_1 = 13,5.5/20 = 3,375 m

x_2 = 13,5 – 1,5 = 12 m ; η_2 = 12.5/20 = 3,000 m

x_3 = 12 – 1,5 = 10,5 m ; η_3 = 10,5.5/20 = 2,625 m

x_4 = 5 – 1,5 = 3,5 m ; η_4 = 15.3,5/20 = 2,625 m

Cálculo do momento fletor máximo

$$M_{q,max} = 200 \cdot (3{,}75 + 3{,}375 + 3) + 12 \cdot \left(\frac{3{,}75+2{,}625}{2} \cdot 4{,}5\right) + 12 \cdot \left(\frac{3{,}75+2{,}625}{2} \cdot 1{,}5\right) + 30 \cdot \left(\frac{10{,}5 \cdot 2{,}625}{2}\right) + 30 \cdot \left(\frac{3{,}5 \cdot 2{,}625}{2}\right)$$

$$M_{q,max} = 2805{,}75\ kNm$$

Cálculo do momento fletor mínimo

Como a linha de influência é toda positiva, o mínimo é não colocar carga móvel

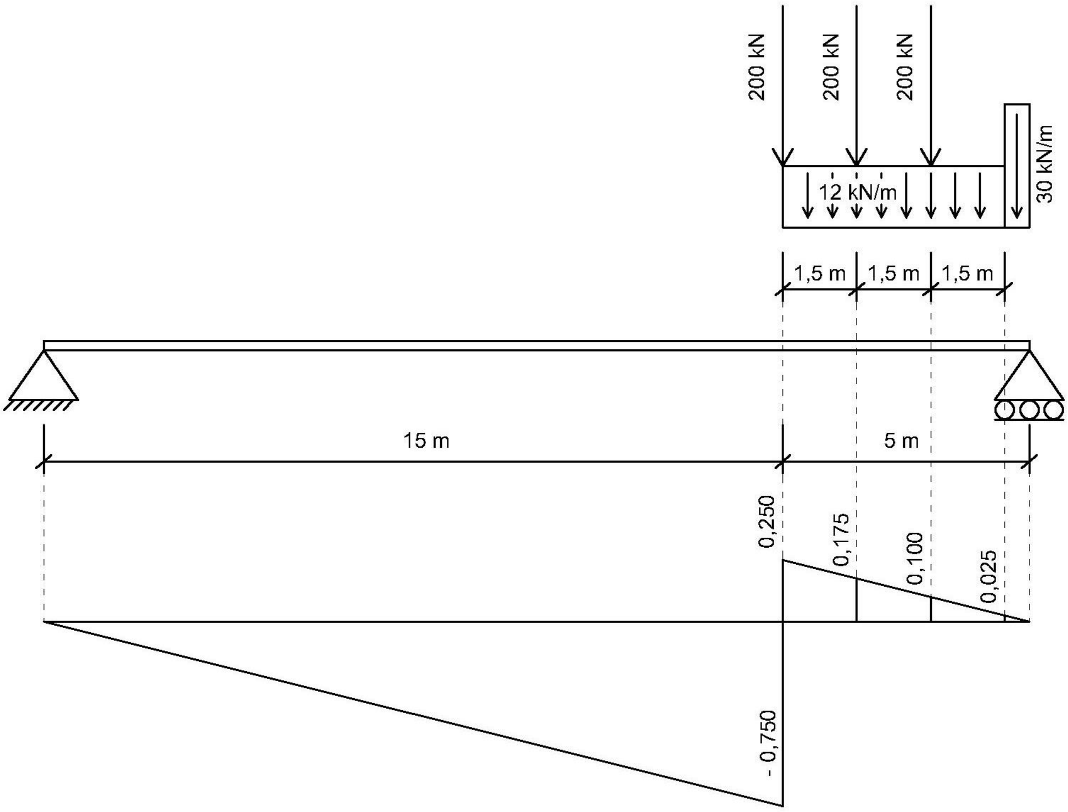
$$M_{q,min} = 0\ kNm$$

Q2)

RESPOSTA

Força Cortante na seção ¾ do vão

Posicionamento do TTL na linha de influência para valor máximo



Cálculo das ordenadas da linha de influência

$x_1 = 5$ m ; $\eta_1 = 5/20 = 0{,}250$

$x_2 = 5 - 1{,}5 = 3{,}5$ m ; $\eta_2 = 3{,}5/20 = 0{,}175$

$x_3 = 3{,}5 - 1{,}5 = 2$ m ; $\eta_3 = 2/20 = 0{,}100$

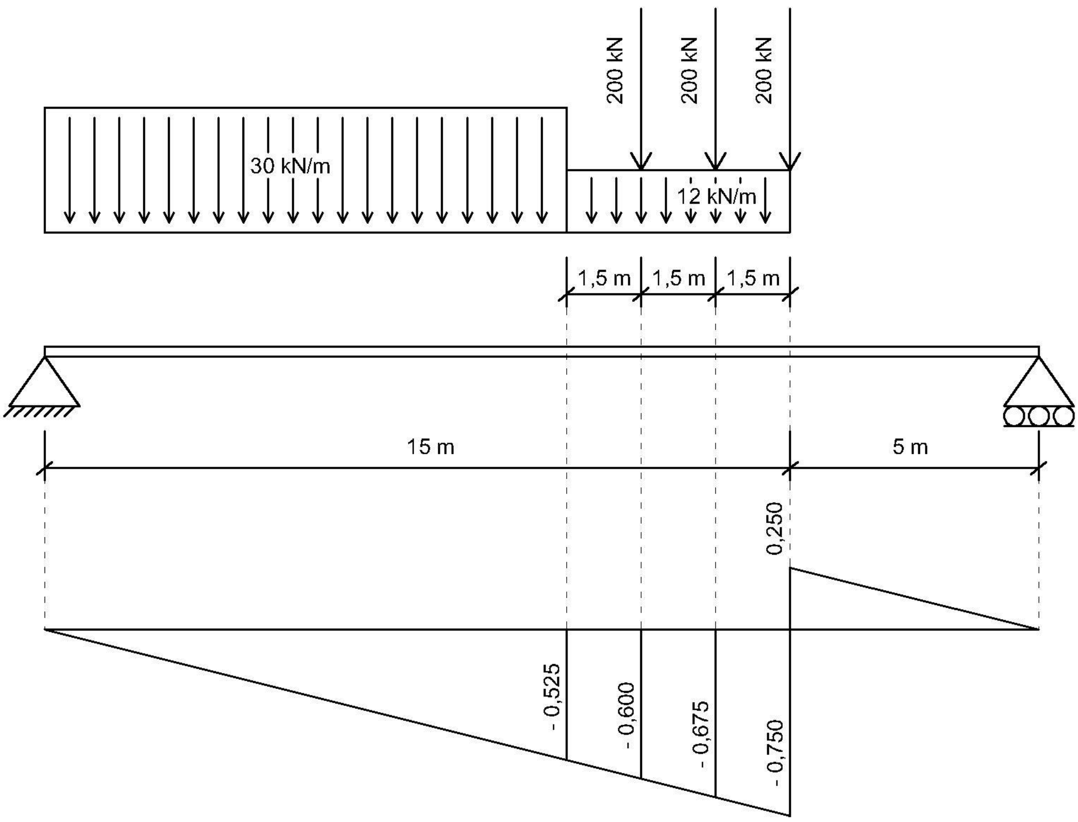
$x_4 = 2 - 1{,}5 = 0{,}5$ m ; $\eta_4 = 0{,}5/20 = 0{,}025$

Cálculo da força cortante máxima

$$V_{q,max} = 200 \cdot (0{,}25 + 0{,}175 + 0{,}1) + 12 \cdot \left(\frac{0{,}25+0{,}025}{2} \cdot 4{,}5\right) + 30 \cdot \left(\frac{0{,}5 \cdot 0{,}025}{2}\right)$$

$$V_{q,max} = 112{,}61\ kN$$

Posicionamento do TTL na linha de influência para valor mínimo



Cálculo das ordenadas da linha de influência

x_1 = 15 m ; η_1 = –15/20 = – 0,750

x_2 = 15 – 1,5 = 13,5 m ; η_2 = –13,5/20 = – 0,675

x_3 = 13,5 – 1,5 = 12 m ; η_3 = –12/20 = – 0,600

x_4 = 12 – 1,5 = 10,5 m ; η_4 = –10,5/20 = – 0,525

Cálculo da força cortante mínima

$$V_{q,min} = -200 \cdot (0{,}75 + 0{,}675 + 0{,}6) - 12 \cdot \left(\frac{0{,}75+0{,}525}{2} \cdot 4{,}5\right) - 30 \cdot \left(\frac{10{,}5 \cdot 0{,}525}{2}\right)$$

$$V_{q,min} = -522{,}11\ kN$$

Q3)

RESPOSTA

Verificação da Fadiga na Flexão

Cálculo em Estádio II

Profundidade da Linha Neutra para Seção T falsa

$$\frac{b_f}{2} \cdot {x_{II}}^2 + A_s \cdot \alpha_E \cdot x_{II} - A_s \cdot \alpha_E \cdot d = 0$$

Área de aço efetiva: $A_s = 22\ \emptyset\ 25\ \text{mm} = 22 \cdot 5 = 110\ \text{cm}^2$

Altura útil efetiva: d = 200 – 15 = 185 cm

$$\frac{400}{2} \cdot x_{II}^2 + 110 \cdot 10 \cdot x_{II} - 110 \cdot 10 \cdot 185 = 0$$

$$200 \cdot x_{II}^2 + 1100 \cdot x_{II} - 203500 = 0$$

$$\Delta = b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 1100^2 - 4 \cdot 200 \cdot (-203500) = 164010000$$

$$x_{II} = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot a} = \frac{-1100 \pm \sqrt{164010000}}{2 \cdot 200} = 29{,}27\ \text{cm}$$

$x_{II} > \text{hf} = 25\ cm\ \therefore$ Seção T verdadeira

Profundidade da Linha Neutra para Seção T verdadeira

$$\frac{b_w}{2} \cdot {x_{II}}^2 + [(b_f - b_w) \cdot \text{hf} + A_s \cdot \alpha_E] \cdot x_{II} - \left[(b_f - b_w) \cdot \frac{h_f^2}{2} + A_s \cdot \alpha_E \cdot d\right] = 0$$

$$\frac{40}{2} \cdot {x_{II}}^2 + [(400 - 40) \cdot 25 + 110 \cdot 10] \cdot x_{II} - \left[(400 - 40) \cdot \frac{25^2}{2} + 110 \cdot 10 \cdot 185\right] = 0$$

$$20 \cdot {x_{II}}^2 + 10100 \cdot x_{II} - 316000 = 0$$

$$\Delta = b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 10100^2 - 4 \cdot 20 \cdot (-316000) = 127290000$$

$$x_{II} = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot a} = \frac{-10100 \pm \sqrt{127290000}}{2 \cdot 20} = 29{,}56\ \text{cm}$$

Cálculo do baricentro do prisma de compressão

$y_1 = 2 \cdot x_{II} / 3 = 2 \cdot 29{,}56 / 3 = 19{,}71$

$V_1 = b_f \cdot x_{II} \cdot \sigma_c / 2 = 400 \cdot 29{,}56 \cdot \sigma_c / 2 = 5912 \cdot \sigma_c$

$y_2 = 2 \cdot (x_{II} – h_f) / 3 = 2 \cdot (29{,}56 – 25) / 3 = 3{,}04$

$V_2 = – (b_f – b_w) \cdot (x_{II} – h_f) \cdot (x_{II} – h_f) \cdot \sigma_c / (2 \cdot x_{II})$

$V_2 = – (400 – 40) \cdot (29{,}56 – 25) \cdot (29{,}56 – 25) \cdot \sigma_c / (2 \cdot 29{,}56) = – 126{,}62 \cdot \sigma_c$

$y = y_1 \cdot V_1 + y_2 \cdot V_2 / (V_1 + V_2)$

$y = 19{,}71 \cdot 5912 \cdot \sigma_c – 3{,}04 \cdot 126{,}62 \cdot \sigma_c / (5912 \cdot \sigma_c –126{,}62 \cdot \sigma_c)$

y = 116140,60 · σ_c / 5785,38 · σ_c = 20,07 cm

Cálculo do braço de alavanca no Estádio II

$$z_{II} = d - x_{II} + y = 185 - 29{,}56 + 20{,}07 = 175{,}51 \text{ cm}$$

Momento Fletor – Combinação de Fadiga

$$M_{FAD,MAX} = M_G + \psi_{1,FAD} \cdot M_{Q,MAX} = 3000 + 0{,}5 \cdot 2805{,}75 = 4402{,}88 \text{ kNm}$$

$$M_{FAD,MIN} = M_G + \psi_{1,FAD} \cdot M_{Q,MIN} = 3000 - 0{,}5 \cdot 0 = 3000{,}00 \text{ kNm}$$

Cálculo da variação de tensão na armadura

$$\sigma_{S,FAD,MAX} = \frac{M_{FAD,MAX}}{A_S \cdot z_{II}} = \frac{440288}{110 \cdot 175{,}51} = 22{,}81 \ \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{S,FAD,MIN} = \frac{M_{FAD,MIN}}{A_S \cdot z_{II}} = \frac{300000}{110 \cdot 175{,}51} = 15{,}54 \ \text{kN/cm}^2$$

$\Delta\sigma_{S,FAD}$ = 22,81 – 15,54 = 7,27 kN/cm^2 = 72,7 MPa

$$\Delta\sigma_{S,FAD} < \Delta f_{SD,FAD} = 175 \text{ MPa}$$

∴ OK, atende o limite de flutuação de tensão na armadura.

Q4)

RESPOSTA

Cálculo do Cisalhamento

Verificação da compressão diagonal do concreto

$$V_{Rd2} = 0{,}54 \cdot \alpha_{v2} \cdot bw \cdot fcd \cdot d \cdot sen^2\theta \cdot (cotg\alpha + cotg\theta)$$

$\theta = 40°$ e $\alpha = 90°$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{fck}{250} = 1 - \frac{30}{250} = 0{,}88$$

$$V_{Rd2} = 0{,}54 \cdot 0{,}88 \cdot 40 \cdot \frac{3{,}0}{1{,}4} \cdot 185 \cdot sen^2 40° \cdot (cotg 90° + cotg 40°)$$

$$V_{Rd2} = 3710{,}42 \text{ kN}$$

$$V_{Sd,MAX} = \gamma_G \cdot V_G + \gamma_Q \cdot V_{Q,MAX} = -1{,}00 \cdot 450 + 1{,}5 \cdot 112{,}61 = -281{,}08 \text{ kN}$$

$$V_{Sd,MIN} = \gamma_G \cdot V_G + \gamma_Q \cdot V_{Q,MAX} = -1{,}35 \cdot 450 - 1{,}5 \cdot 522{,}11 = -1390{,}67 \text{ kN}$$

V_{Sd} é o maior valor em módulo, logo V_{Sd} = 1390,67 kN

V_{Rd2} > V_{Sd}

∴ OK, atende o limite da compressão diagonal do concreto.

Contribuição do concreto para suspensão de carga

$$V_{C0} = 0{,}6 \cdot fctd \cdot bw \cdot d$$

$$fctd = \frac{0{,}21 \cdot fck^{\frac{2}{3}}}{\gamma_f} = \frac{0{,}21 \cdot 30^{\frac{2}{3}}}{1{,}4} = 1{,}45\ MPa = 0{,}145\ kN/cm^2$$

$$V_{C0} = 0{,}6 \cdot 0{,}145 \cdot 40 \cdot 185 = 643{,}80\ kN$$

Interpolando para encontrar Vc:

Vc = Vco para Vsd = Vco

Vc = 0 para Vsd = Vrd2

$$(3710{,}42 - 643{,}8) \cdot V_c = (3710{,}42 - 1390{,}67) \cdot 643{,}8$$

$$V_c = 487{,}00\ kN$$

Cálculo da armadura transversal

$V_{Sw} = V_{Sd} – V_c = 1390{,}67 – 487 = 903{,}67$ kN

$$Asw = \frac{Vsw \cdot s}{0{,}9 \cdot d \cdot fywd \cdot (\cot g\alpha + \cot g\theta) \cdot sen\alpha}$$

Admitindo estribos verticais (α = 90°)

$$Asw = \frac{Vsw \cdot s}{0{,}9 \cdot d \cdot fywd \cdot \cot g\theta}$$

$$Asw = \frac{903{,}67 \cdot 100}{0{,}9 \cdot 185 \cdot \frac{50}{1{,}15} \cdot \cot g40°} = 10{,}47\ ^{cm^2}/_{m}$$

Cálculo da armadura mínima

$$\rho_{sw,min} = 0{,}2 \cdot \frac{fctm}{fywk}$$

$$fctm = 0{,}3 \cdot fck^{\frac{2}{3}} = 0{,}3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2{,}90\ MPa$$

$$\rho_{sw,min} = 0{,}2 \cdot \frac{2{,}9}{500} = 0{,}116\%$$

$$A_{sw,min} = \rho_{sw,min} \cdot bw \cdot s = \frac{0{,}116}{100} \cdot 40 \cdot 100 = 4{,}64\ ^{cm^2}/_{m}$$

Força Cortante – Combinação de Fadiga

$$V_{FAD,MAX} = V_G + \psi_{1,FAD} \cdot V_{Q,MAX} = -450 + 0{,}5 \cdot 112{,}61 = -393{,}70\ kN$$

$$V_{FAD,MIN} = V_G + \psi_{1,FAD} \cdot V_{Q,MIN} = -450 - 0,5 \cdot 522,11 = -711,06 \text{ kN}$$

Os esforços obtidos na combinação possuem o mesmo sinal, logo:

$V_{Sd,FAD,MIN}$ = menor valor em módulo = 393,70 kN

$V_{Sd,FAD,MAX}$ = maior valor em módulo = 711,06 kN

Contribuição do concreto para suspensão de carga na fadiga

$$V_{C,FAD} = 0,5 \cdot V_C = 0,5 \cdot 643,80 = 321,90 \text{ kN}$$

$tg\theta_{cor} = (tg\theta)^{1/2} \leq 1,0$

$tg\theta_{cor} = (tg40°)^{1/2}$

$\theta_{cor} = 42,49°$

Cálculo da armadura transversal para fadiga

$V_{Sw,FAD,MAX} = V_{Sd,FAD,MAX} - V_{C,FAD} = 711,06 - 321,90 = 389,16$ kN

$V_{Sw,FAD,MIN} = V_{Sd,FAD,MIN} - V_{C,FAD} = 393,70 - 321,90 = 71,80$ kN

$\Delta V_{Sw,FAD} = V_{Sw,FAD,MAX} - V_{Sw,FAD,MIN} = 389,16 - 71,80 = 317,36$ kN

$$A_{Sw,FAD} = \frac{\Delta V_{Sw,FAD} \cdot s}{0,9 \cdot d \cdot \Delta f_{Sd,FAD} \cdot \text{cotg}\theta_{cor}} = \frac{317,36 \cdot 100}{0,9 \cdot 185 \cdot 8,5 \cdot \text{cotg}42,49°}$$

$$A_{Sw,FAD} = 20,54 \ \text{kN/cm}^2$$

Armadura transversal = maior valor entre A_{Sw} , $A_{Sw,MIN}$ e $A_{Sw,FAD}$ = 20,54 cm^2/m

Admitindo estribos $\varnothing_t$ = 10 mm com 4 ramos

$$n_E = \frac{Asw}{N_R \cdot As_1} = \frac{20,54}{4 \cdot 0,8} = 6,42 \text{ estribos}$$

$$s = \frac{100}{n_E} = \frac{100}{6,42} = 15,58 \text{ cm}$$

ϕ 10 mm c/ 15 cm (4 ramos)