Projeto de Concreto

Equipe 2:
Luis Gabriel Gonçalves Coimbra
Rodrigo Leite Gabilan

1 Detalhamento das vigas

1.1 Informações em comum

1.1.1 Módulo de elasticidade secante do concreto

$$E_c = E_{cs} = 0.85 \times 5600 \times (f_{ck})^{1/2}$$

$$= 2.607 \times 10^4 MPa => Norma\ arredonda\ para\ 27Gpa$$

1.1.2 Relação entre módulo de elasticidade do aço e do concreto

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c}$$

$$= \frac{210GPa}{27Gpa} = 7{,}78$$

1.1.3 Resistência média à tração do concreto

$$f_{ctm} = 0.3 \times f_{ck}^{2/3}$$

$$= 0.3 \times 30^{2/3}$$

$$= 0.28965\ kN/cm^2$$

1.1.4 Resistência à tração direta do concreto

$$f_{ctkinf} = 0.7 \times f_{ctm}$$

$$= 0.7 \times 0.290$$

$$= 0.203\ kN/cm^2$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctkinf}}{1.4}$$

$$= \frac{0.2}{1.4}$$

$$= 0.14\ kN/cm^2$$

1.1.5 Resistência de aderência de cálculo

$$\eta_1 = 2.25\ (barras\ nervuradas)$$

$$\eta_2 = 1\ (situação\ de\ boa\ aderência)\ ou\ 0{,}7\ (má\ aderência)$$

$$\eta_3 = 1 \ (para\ barras\ com\ diâmetro\ menor\ que\ 32mm)$$

$$f_{bd}^{+} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd}$$

$$= 2.25 \times 1 \times 1 \times 0.14$$

$$= 0.326\ kN/cm^2$$

$$f_{bd}^{-} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd}$$

$$= 2.25 \times 0{,}7 \times 1 \times 0.14$$

$$= 0{,}228\ kN/cm^2$$

1.2 Viga 70

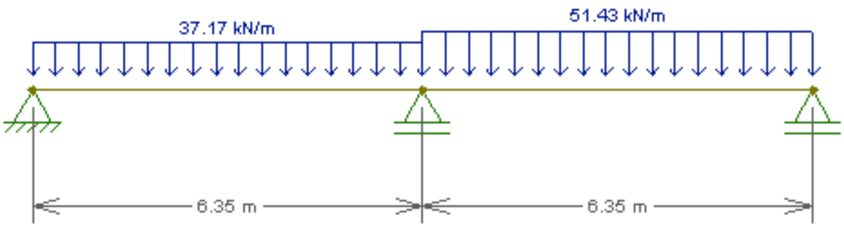
Dados:

$$b = 20cm$$
$$d = 92.6cm$$
$$h = 96cm$$

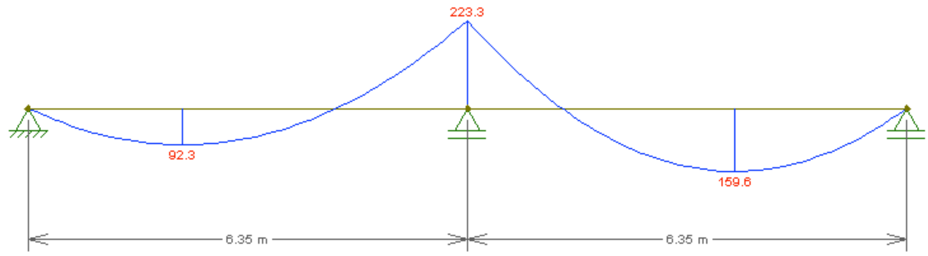
$$\phi_i = 12{,}5\ mm$$

$$A_s = 5.57\ cm^2\ (maior\ armadura)$$

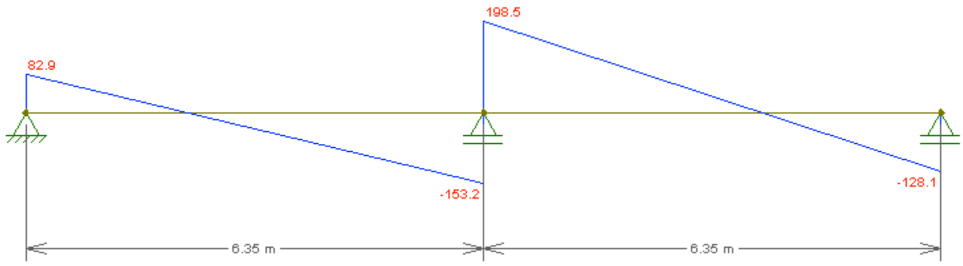
1.2.1 Esforços de projeto



1.2.2 Diagrama de momento fletor de projeto



1.2.3 Diagrama de cortante de projeto



1.2.4 Verificação de flecha

1.2.1.1 Momento de Inércia da seção bruta

$$I_c = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{20 \times 96^3}{12} = 1474560\ cm^4$$

1.2.1.2 Momento de fissuração

$$M_r = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{\frac{h}{2}}$$

$$= \frac{1.5 \times 0.2896 \times 1323371.29}{28}$$

$$= 11978.58kNcm \approx 119.79kNm$$

1.2.1.3 Momento de inércia no estádio 2

1.2.1.3.1 Linha neutral no estádio 2

$$x_2 = \frac{-a_2 + \sqrt{{a_2}^2 - 4 \times a_1 \times a_3}}{2 \times a_1}$$

Sendo:

$$a_1 = \frac{b}{2} = 10cm$$

$$a_2 = A_s \times \alpha_e$$

$$= 5.79cm^2 \times 7.78 \approx 45{,}05cm^2$$

$$a_3 = -a_2 \times d$$

$$= -45.05 \times 92.6 = 4171.63cm^3$$

1.2.1.3.2 Linha neutra no estádio 2

$$x_2 = \frac{-45{,}05 + \sqrt{45{,}05^2 + 4 \times 10 \times 4171.63}}{2 \times 10}$$

$$= 18{,}30\ cm$$

1.2.1.3.3 Momento de inércia no estádio 2

$$I_2 = \frac{b\ \times \{x_2\}^3}{3} + \alpha_e \times A_s \times (x_2 - d)^2$$

$$I_2 = \frac{20 \times \{18.3\}^3}{3} + 7.78 \times 5.59 \times (18.3 - 92.6)^2$$

$$I_2 = 280943{,}79\ cm^4$$

1.2.1.4 Momento de Inércia a ser usado

$$M_a = \frac{223.3}{1.4}$$

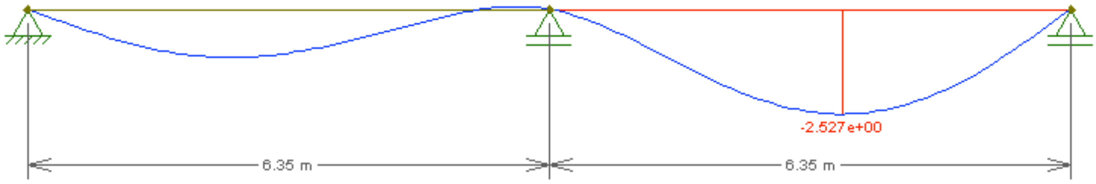
$$I = \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3 \times I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3\right] * I_2$$

$$I = \left(\frac{119.79}{159.5}\right)^3 \times 1474560 + \left[1 - \left(\frac{119.79}{159.5}\right)^3\right] \times 280943.79$$

$$= 786587.19\ cm^4 < I_c = 1474560\ cm^4$$

1.2.1.5 Flecha imediata

Usando o valor do módulo de elasticidade e momento de inércia, podemos, como auxílio do Ftool, encontrar a deformação máxima da viga.



$$\alpha_i = 2.53mm$$

1.2.1.6 Flecha total

Considerando que a aplicação da carga de longa duração ocorra logo no início e para um tempo maior que 70 meses em que se queira obter a flecha diferida, temos:

$$\alpha_f = 2\alpha_i$$

$$\alpha_{tot} = \alpha_i + 2\alpha_i = 3\alpha_i$$

$$\alpha_{tot} = 3 \times 2.53 = 7{,}59mm$$

1.2.1.7 Verificação

Segundo a tabela 13.3 da NBR 6118:2014, temos que o deslocamento limite máximo permitido por razão da limitação visual é de $l/200$. Para a situação mais desfavorável da viga (segunda parte dela), temos:

$$\frac{l}{200} = \frac{645}{200} = 3{,}225\ cm > 0{,}759\ cm \therefore Atende$$

1.2.5 Estado limite de fissuração

$$w_k = \frac{\phi_i}{1.25 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

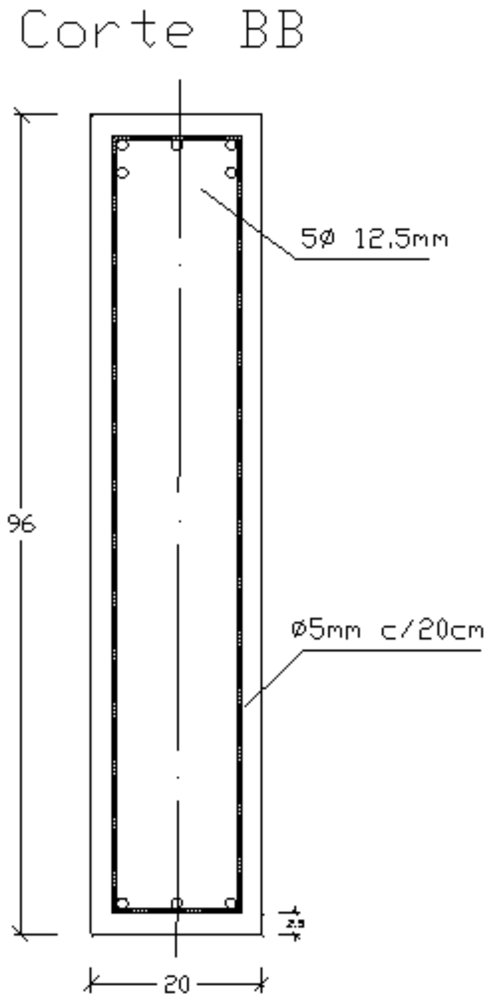
$$w_k = \frac{\phi_i}{1.25 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45\right)$$

$$\eta_1 = 2{,}25\ (barra\ nervurada)$$

$$f_{ctm} = 0{,}28965\ kN/cm^2\ (calculado\ em\ 1.1.1)$$

$$E_{si} = 20000 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\phi_i = 1{,}25\ cm$$



$$7{,}5 * \phi_i = 7{,}5 * 1{,}25 = 9{,}375\ cm$$

$$A_{cr} = (3 + 9{,}375) * 20$$

$$A_{cr} = 247{,}50\ cm^2$$

$$\sigma_{si} = \frac{\alpha_e * M_d * (d - x_2)}{I_2}$$

$$\sigma_{si} = \frac{7{,}78 * 22230 * (92{,}6 - 18{,}30)}{280943{,}79} = 45{,}74 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\rho_{ri} = \frac{A_s}{A_{cr}} = \frac{5{,}79}{247{,}50} = 0{,}023$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45\right)$$

$$w_k = \frac{12,5}{12,5 * 2,25} * \frac{45,74}{20000} * \frac{3 * 45,74}{0,28965} = 0,4\ mm$$

$$w_k = \frac{12,5}{12,5 * 2,25} * \frac{45,74}{20000} * \left(\frac{4}{0,023} + 45\right) = 0,22\ mm$$

$$w_k = 0,4\ mm$$

$$ELSW\ wk\ \leq\ 0,4mm\ (para\ CAAI)$$

1.2.6 Vistas transversais

$$e_v \geq \begin{cases} 2\ cm \\ \phi \\ 0.5\ d_{\{max\}} \end{cases}$$

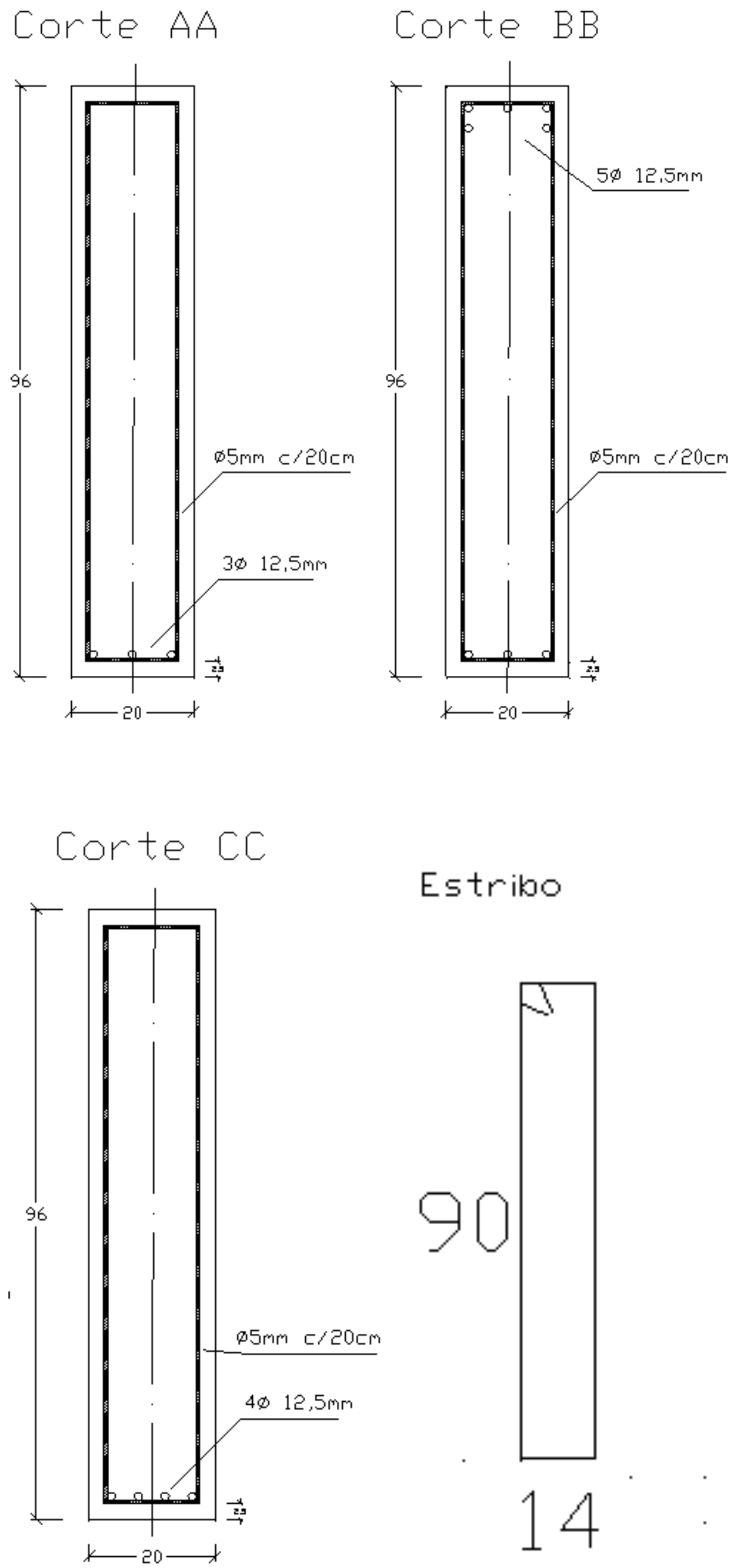
$$e_h \geq \begin{cases} 2\ cm \\ \phi \\ 1.2\ d_{\{max\}} \end{cases}$$

Como não temos essa informação, vamos considerar que o diâmetro máximo do agregado ($d_{\{max\}}$) não seja um limitador nos espaçamentos.

$$\phi = 1,25\ cm$$

$$e_v \geq 2cm$$
$$e_h \geq 2cm$$

Assim, temos:



Para os cortes em escala, consultar plantas em anexo.

1.2.7 Vista Longitudinal

1.2.7.1 Comprimento de ancoragem

1.2.7.1.1 Situação de boa aderência (momento positivo)

$$f_{bd}^{+} = 0.326\ kN/cm^2$$

$$l_b^{+} = \frac{\phi \times f_{yd}}{4 \times f_{bd}^{+}} \geq 25 \times \phi$$

$$= \frac{1.25 \times 43.48}{4 \times 0.326} \geq 25 \times 1.25$$

$$= 41{,}68\ cm$$

1.2.7.1.2 Situação de má aderência (momento negativo)

$$f_{bd}^{-} = 0{,}228\ kN/cm^2$$

$$l_b^{-} = \frac{\phi \times f_{yd}}{4 \times f_{bd}^{-}} \geq 25 \times \phi$$

$$= \frac{1.25 \times 43.48}{4 \times 0.228} \geq 25 \times 1.25$$

$$= \ 59{,}59\ cm$$

1.2.7.2 Decalagem

Como os estribos estão a 90º, então:

$$a_l = 0.5 \times d$$

$$= 0.5 \times \ 92.6$$

$$= 46.3cm$$

1.2.7.3 Área mínima até o apoio

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d \times a_l}{f_{yd} \times d} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d \times 46.3}{43.48 \times 92.6} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d \times 46.3}{43.48 \times 92.6} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d}{86{,}96\ kN/cm^2} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

1.2.7.3.1 Área mínima no apoio da esquerda

$$V_d = 82{,}9kN$$

$$A_{s_{vão}} = 3.75\ cm^2$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{82{,}9\ kN}{86{,}96\ kN/cm^2} \geq \frac{3.75}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = 1{,}25cm^2$$

1.2.7.3.2 Área mínima no apoio da direita

$$V_d = 128.1\ kN$$

$$A_{s_{vão}} = 5\ cm^2$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{128.1\ kN}{86{,}96\ kN/cm^2} \geq \frac{5}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = 1{,}67cm^2$$

1.2.7.4 Retirada de barras

Lembrando que devemos ter ao menos 3 barras para respeitar a área mínima e que tiramos as barras em pares, só teremos a oportunidade de fazer isso na barra negativa porque tem-se 5 barras.

Cálculo para 3 barras:

$$\omega = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times d \times f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{3{,}75 \times 43{,}48}{20 \times 92{,}6 \times (3/1{,}4)}$$

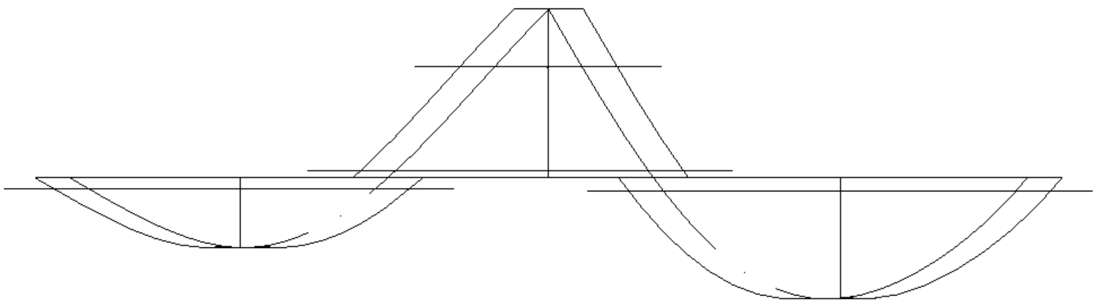
$$\omega = 0{,}041085 \therefore \mu_d = 0{,}04$$

$$M_{sd} = \mu_d \times b \times d^2 \times f_{cd}$$

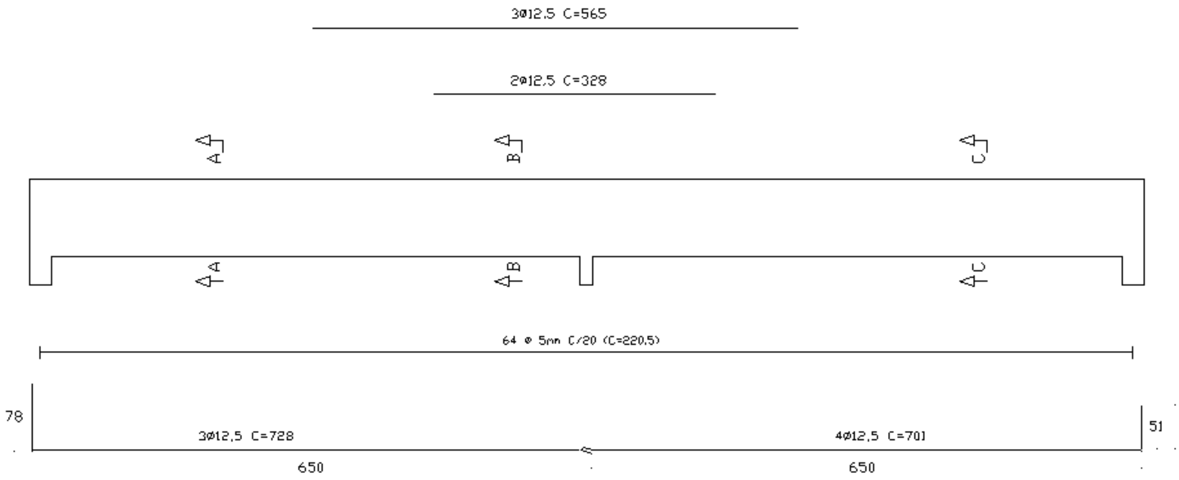
$$M_{sd} = 0{,}04 \times 20 \times 92{,}6^2 \times 3/1{,}4$$

$$M_{sd} = 14699\ kNcm = 146{,}99\ kNm$$

1.2.7.5 Diagrama de momento fletor decalado com as barras



1.2.7.6 Vista longitudinal



1.3 Viga 47

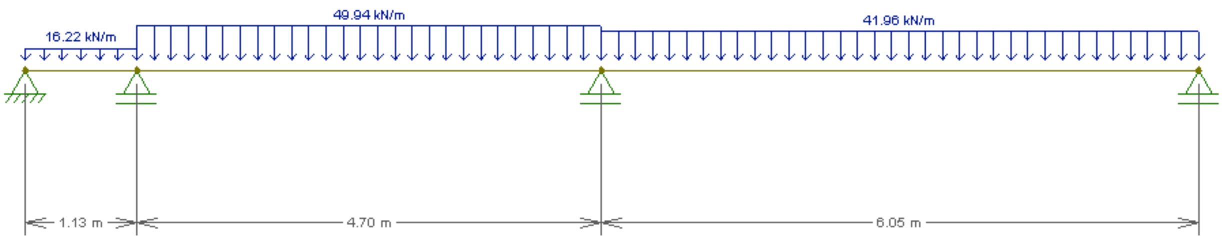
Dados:

$$b = 25cm$$
$$d = 52.6cm$$
$$h = 56cm$$

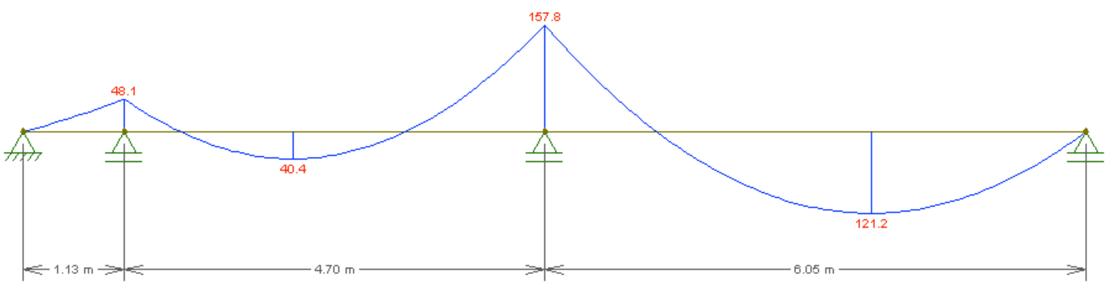
$$\phi_i = 12{,}5\ mm$$

$$A_s = 7{,}5\ cm^2\ (maior\ armadura)$$

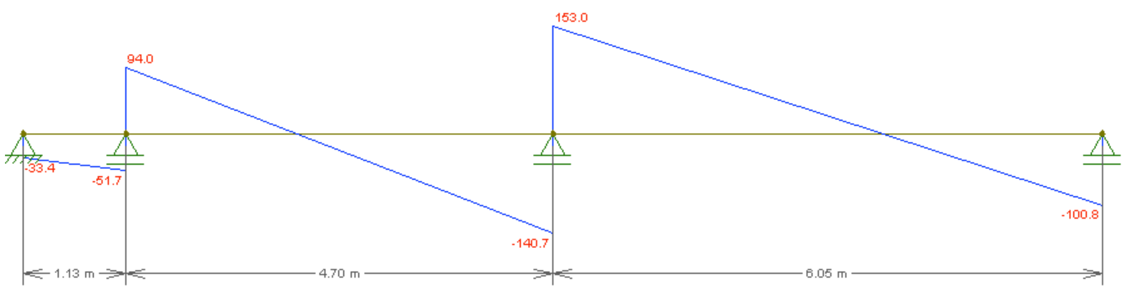
1.3.1 Esforços de projeto



1.3.2 Diagrama de momento fletor de projeto



1.3.3 Diagrama de cortante de projeto



1.3.4 Verificação de flecha

1.3.1.1 Momento de Inércia da seção bruta

$$I_c = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{25 \times 56^3}{12} = 365866{,}67\ cm^4$$

1.3.1.2 Momento de fissuração

$$M_r = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{\frac{h}{2}}$$

$$= \frac{1.5 \times 0.2896 \times 365866{,}67}{28}$$

$$= 5676{,}16 kNcm \approx 56{,}76 kNm$$

1.3.1.3 Momento de inércia no estádio 2

Seguindo a mesma lógica do item 1.2.1.3, temos:

$$x_2 = 13{,}64\ cm$$

$$I_2 = 157916{,}25 cm^4$$

1.3.1.4 Momento de Inércia a ser usado

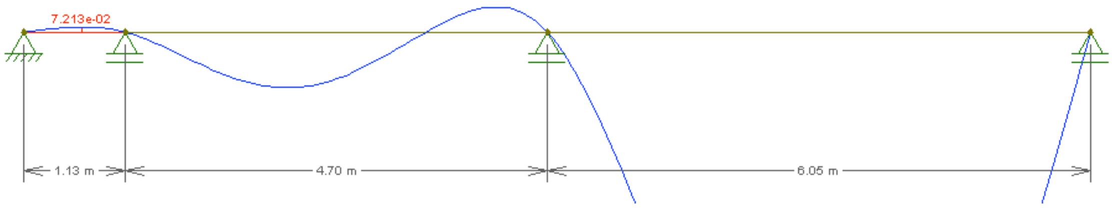
$$M_a = \frac{157.8}{1.4} = \ 112{,}72\ kNm$$

$$I = \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3 \times I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3\right] * I_2$$

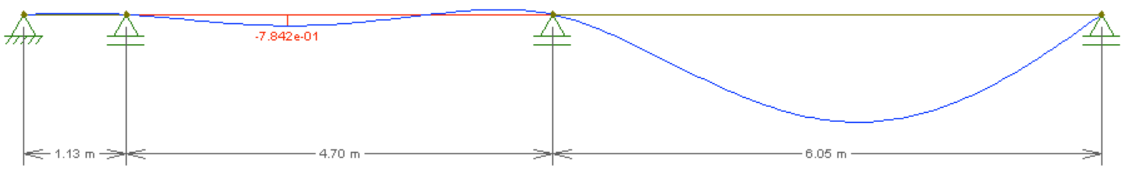
$$I = 184000 cm^4$$

1.3.1.5 Flecha imediata

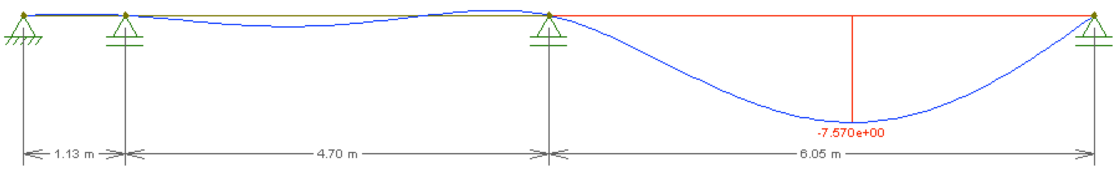
Usando o valor do módulo de elasticidade e momento de inércia, podemos, como auxílio do Ftool, encontrar a deformação máxima da viga.



$$\alpha_{i1} = 0{,}07213\ mm$$



$$\alpha_{i3} = 0{,}7842\ mm$$



$$\alpha_{i3} = 7{,}57mm$$

1.3.1.6 Flecha total

Considerando que a aplicação da carga de longa duração ocorra logo no início e para um tempo maior que 70 meses em que se queira obter a flecha diferida, temos:

$$\alpha_f = 2\alpha_i$$

$$\alpha_{tot} = \alpha_i + 2\alpha_i = 3\alpha_i$$

$$\alpha_{tot1} = 3 \times 0{,}07213 = 0{,}216mm$$

$$\alpha_{tot2} = 3 \times 0{,}7842 = 2{,}35mm$$

$$\alpha_{tot3} = 3 \times 7{,}57 = 22{,}71mm$$

1.3.1.7 Verificação

Segundo a tabela 13.3 da NBR 6118:2014, temos que o deslocamento limite máximo permitido por razão da limitação visual é de $l/200$. Para a situação mais desfavorável da viga (segunda parte dela), temos:

$$\frac{l_1}{200} = \frac{113}{200} = 0{,}565\ cm > 0{,}216\ mm\ \therefore\ Atende$$

$$\frac{l_2}{200} = \frac{470}{200} = 2{,}35\ cm > 2{,}35\ mm\ \therefore\ Atende$$

$$\frac{l_3}{200} = \frac{605}{200} = 3{,}02\ cm > 22{,}71\ mm\ \therefore\ Atende$$

1.3.5 Estado limite de fissuração

$$w_k = \frac{\phi_i}{1.25 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

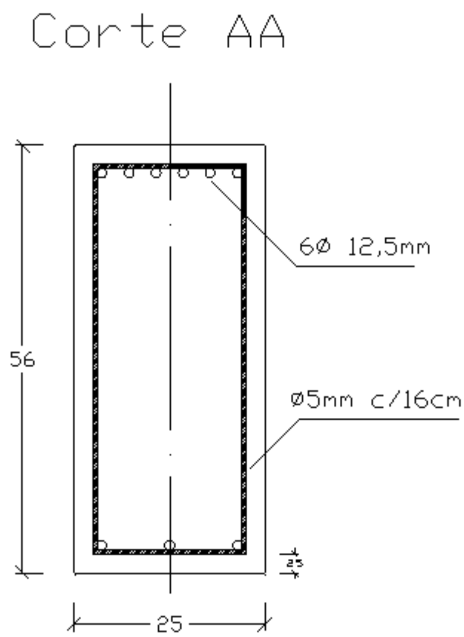
$$w_k = \frac{\phi_i}{1.25 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45\right)$$

$$\eta_1 = 2{,}25\ (barra\ nervurada)$$

$$f_{ctm} = 0.28965\ kN/cm^2\ (calculado\ em\ 1.1.1)$$

$$E_{si} = 20000 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\phi_i = 1{,}25\ cm$$



$$7{,}5 * \phi_i = 7{,}5 * 1{,}25 = 9{,}375\ cm$$

$$A_{cr} = (3 + 9{,}375) * 25$$

$$A_{cr} = 309{,}37\ cm^2$$

$$\sigma_{si} = \frac{\alpha_e * M_d * (d - x_2)}{I_2}$$

$$\sigma_{si} = \frac{7{,}78 * 15780 * (52{,}6 - 13{,}64)}{157916{,}25c} = 30{,}29\frac{kN}{cm^2}$$

$$\rho_{ri} = \frac{A_s}{A_{cr}} = \frac{7{,}5}{309{,}37} = 0{,}024$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12{,}5 * \eta_1}\frac{\sigma_{si}}{E_{si}}\frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12{,}5 * \eta_1}\frac{\sigma_{si}}{E_{si}}\left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45\right)$$

$$w_k = \frac{12{,}5}{12{,}5 * 2{,}25} * \frac{30{,}29}{20000} * \frac{3 * 30{,}29}{0{,}28965} = 0{,}21\ mm$$

$$w_k = \frac{12{,}5}{12{,}5 * 2{,}25} * \frac{30{,}29}{20000} * \left(\frac{4}{0{,}024} + 45\right) = 0{,}14\ mm$$

$$w_k = 0{,}21\ mm$$

$$ELSW\ wk \ \leq\ 0{,}4mm\ (para\ CAAI)$$

1.3.6 Vistas transversais

$$e_v \geq \begin{cases} 2\ cm \\ \phi \\ 0.5\ d_{\{max\}} \end{cases}$$

$$e_h \geq \begin{cases} 2\ cm \\ \phi \\ 1.2\ d_{\{max\}} \end{cases}$$

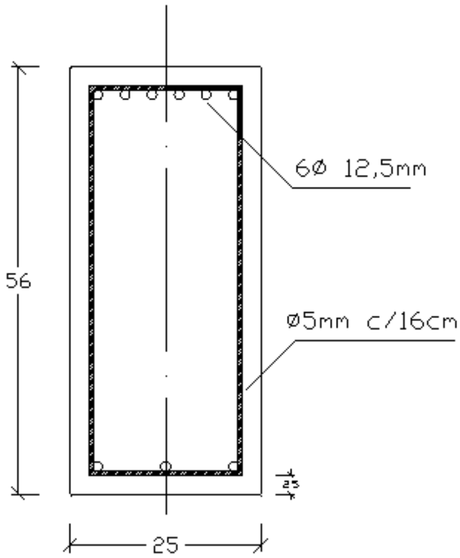
Como não temos essa informação, vamos considerar que o diâmetro máximo do agregado ($d_{\{max\}}$) não seja um limitador nos espaçamentos.

$$\phi = 1{,}25\ cm$$

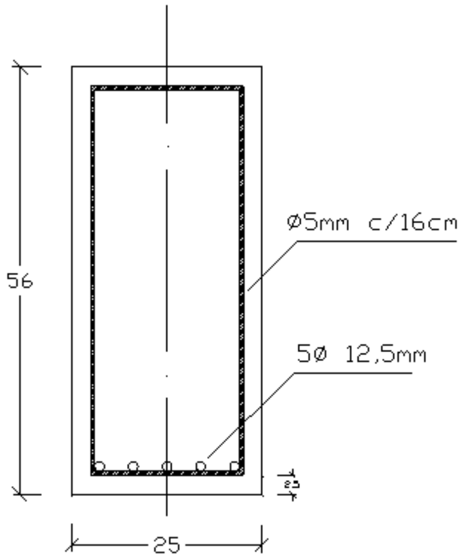
$$e_v \geq 2cm$$
$$e_h \geq 2cm$$

Assim, temos:

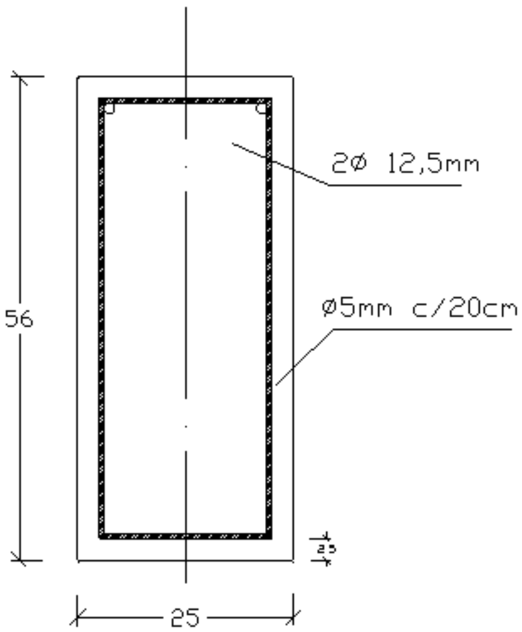
Corte AA



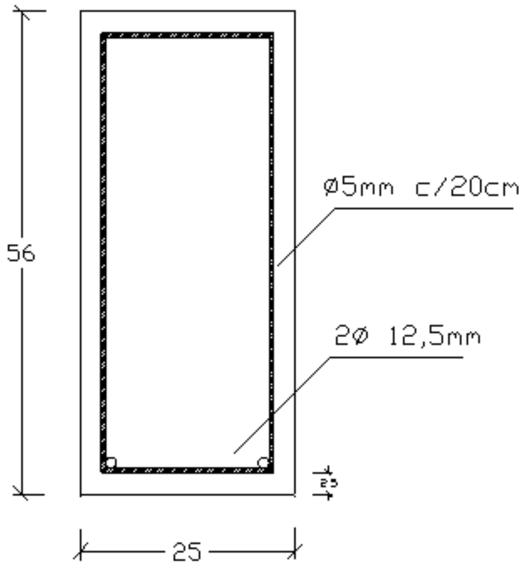
Corte BB

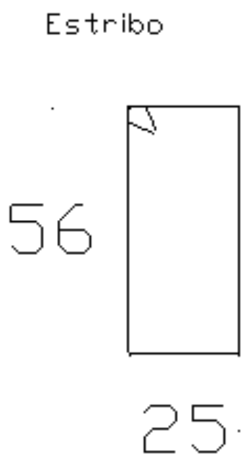


Corte CC



Corte DD





Para os cortes em escala, consultar plantas em anexo.

1.3.7 Vista Longitudinal

1.3.7.1 Comprimento de ancoragem

1.3.7.1.1 Situação de boa aderência (momento positivo)

$$f_{bd}^{+} = 0.326\ kN/cm^2$$

$$l_b^{+} = \frac{\phi \times f_{yd}}{4 \times f_{bd}^{+}} \geq 25 \times \phi$$

$$= \frac{1.25 \times 43.48}{4 \times 0.326} \geq 25 \times 1.25$$

$$= 41{,}68\ cm$$

1.3.7.1.2 Situação de má aderência (momento negativo)

$$f_{bd}^{-} = 0{,}228\ kN/cm^2$$

$$l_b^{-} = \frac{\phi \times f_{yd}}{4 \times f_{bd}^{-}} \geq 25 \times \phi$$

$$= \frac{1.25 \times 43.48}{4 \times 0.228} \geq 25 \times 1.25$$

$$= 59{,}59\ cm$$

1.3.7.2 Decalagem

Como os estribos estão a 90º, então:

$$a_l = 0.5 \times d$$

$$= 0.5 \times 52{,}6$$

$$= 23{,}6\ cm$$

1.3.7.3 Área mínima até o apoio

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d \times a_l}{f_{yd} \times d} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d \times 23{,}6}{43.48 \times 52{,}6} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d}{86{,}96\ kN/cm^2} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

1.3.7.3.1 Área mínima no apoio da esquerda

Esse vão já está sendo usado a armadura mínima, portanto a manteremos para não ter que chegar menos de 2 armaduras.

1.3.7.3.2 Área mínima no apoio da direita

$$V_d = 100{,}8\ kN$$

$$A_{s_{vão}} = 6{,}25\ cm^2$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{100{,}8\ kN}{86{,}96\ kN/cm^2} \geq \frac{6{,}25}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = 2{,}08\ cm^2$$

1.3.7.4 Retirada de barras

Cálculo para 4 barras:

$$\omega = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times d \times f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{5 \times 43{,}48}{25 \times 52{,}6 \times (3/1{,}4)}$$

$$\omega = 0{,}0771 \therefore \mu_d = 0{,}074$$

$$M_{sd} = \mu_d \times b \times d^2 \times f_{cd}$$

$$M_{sd} = 0{,}074 \times 25 \times 52{,}6^2 \times 3/1{,}4$$

$$M_{sd} = 10968\ kNcm = 109{,}68\ kNm$$

Cálculo para 3 barras:

$$\omega = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times d \times f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{3{,}75 \times 43{,}48}{25 \times 52{,}6 \times (3/1{,}4)}$$

$$\omega = 0{,}05786 \therefore \mu_d = 0{,}056$$

$$M_{sd} = \mu_d \times b \times d^2 \times f_{cd}$$

$$M_{sd} = 0{,}056 \times 25 \times 52{,}6^2 \times 3/1{,}4$$

$$M_{sd} = 8300\ kNcm = 83\ kNm$$

Cálculo para 2 barras:

$$\omega = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times d \times f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{2{,}5 \times 43{,}48}{25 \times 52{,}6 \times (3/1{,}4)}$$

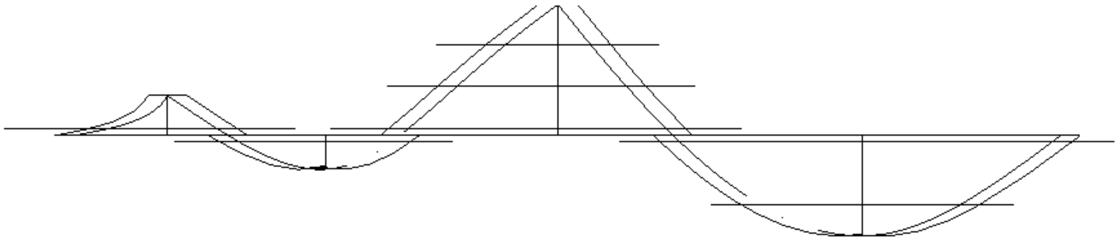
$$\omega = 0{,}0386 \therefore \mu_d = 0{,}040$$

$$M_{sd} = \mu_d \times b \times d^2 \times f_{cd}$$

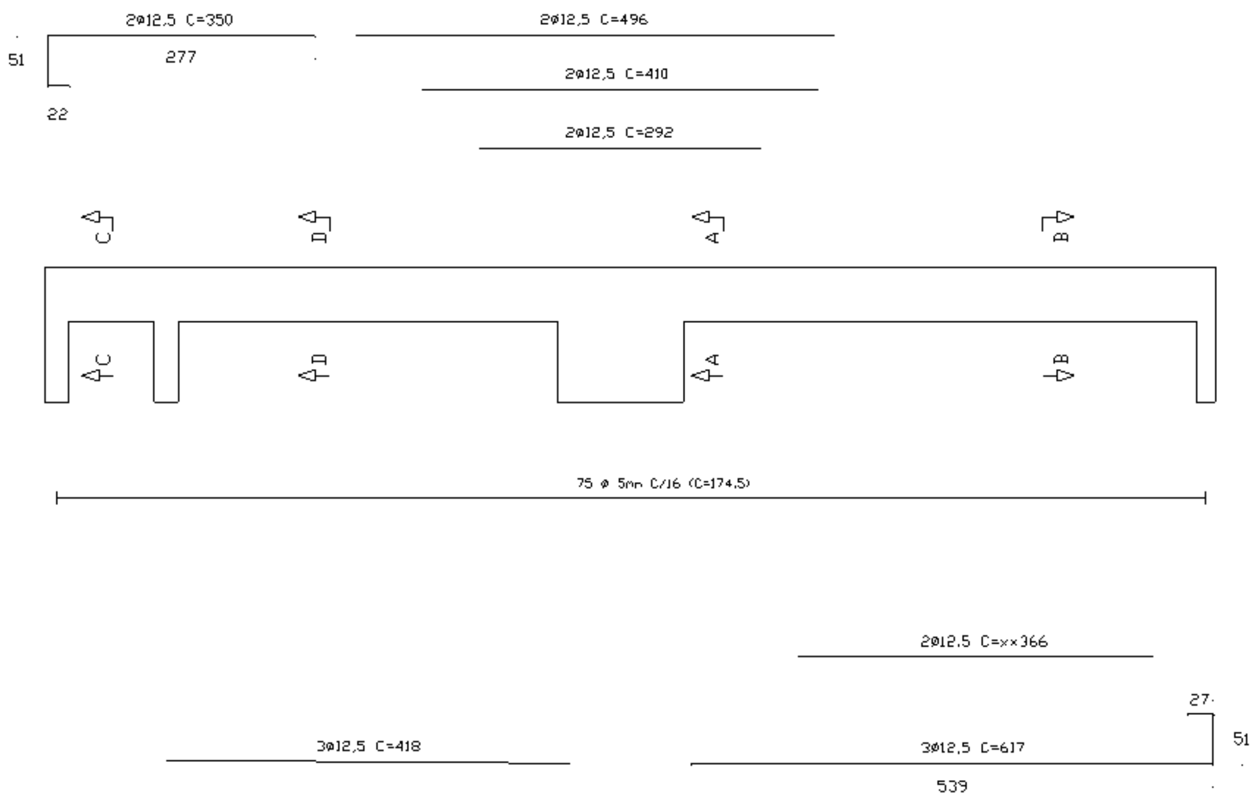
$$M_{sd} = 0{,}040 \times 25 \times 52{,}6^2 \times 3/1{,}4$$

$$M_{sd} = 5928,57\ kNcm = 59,29\ kNm$$

1.3.7.5 Diagrama de momento fletor decalado com as barras



1.3.7.6 Vista longitudinal



1.4 Viga 28

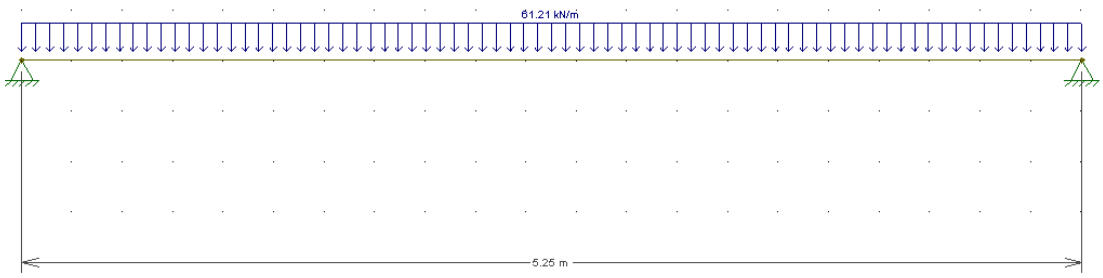
Dados:

$$b = 400mm$$
$$d = 435mm$$
$$h = 460mm$$

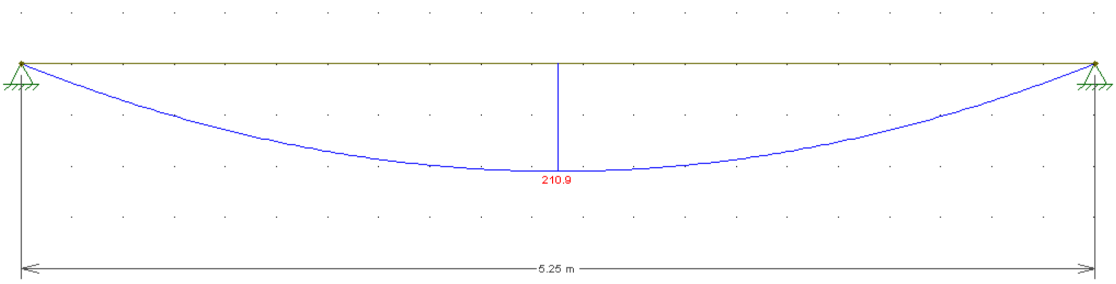
$$\phi_i = 20{,}0\ mm$$

$$A_s = 1256\ mm^2\ (maior\ armadura)$$

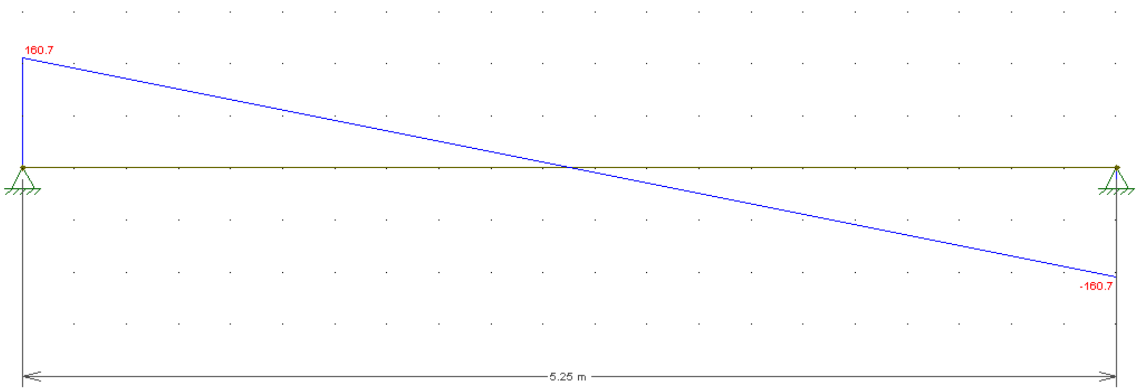
1.4.1 Esforços de projeto



1.4.2 Diagrama de momento fletor de projeto



1.4.3 Diagrama de cortante de projeto



1.4.4 Verificação de flecha

1.4.4.1 Momento de Inércia da seção bruta

$$I_c = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{400 \times 460^3}{12} = 3244533333.33\ mm^4$$

1.4.4.2 Momento de fissuração

$$M_r = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{\frac{h}{2}}$$

$$= \frac{1.5 \times 2.896 \times 3244533333.33}{230}$$

$$= 61289266.13Nmm \approx 61.29kNm$$

1.4.4.3 Momento de inércia no estádio 2

1.4.4.3.1 Linha neutral no estádio 2

$$x_2 = \frac{-a_2 + \sqrt{a_2{}^2 - 4 \times a_1 \times a_3}}{2 \times a_1}$$

Sendo:

$$a_1 = \frac{b}{2} = 200mm$$

$$a_2 = A_s \times \alpha_e$$

$$= 1256mm^2 \times 8.05 \approx 10116.76mm^2$$

$$a_3 = -a_2 \times d$$

$$= -10116.76 \times 435 = -4400789.65mm^3$$

1.4.4.3.2 Linha neutra no estádio 2

$$x_2 = \frac{-10116.76 + \sqrt{10116.76^2 + 4 \times 200 \times 4400789.65}}{2 \times 200}$$

$$= 125.18\ mm$$

1.4.4.3.3 Momento de inércia no estádio 2

$$I_2 = \frac{b\ \times \{x_2\}^3}{3} + \alpha_e \times A_s \times (x_2 - d)^2$$

$$I_2 = \frac{400 \times \{125.18\}^3}{3} + 8.05 \times 1256 \times (125.18 - 435)^2$$

$$I_2 = 1232635010\ mm^4$$

1.4.4.4 Momento de Inércia a ser usado

$$M_a = 150600000 \text{ N mm}$$

$$EI = E_{si} \times \left(\left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \times I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] * I_2 \right)$$

$$EI = E_{si} \times \left(\left(\frac{61.29}{150.6} \right)^3 \times 3244533333.33 + \left[1 - \left(\frac{61.29}{150.6} \right)^3 \right] \times 1232635010 \right)$$

$$= 3.57 \times 10^{13} \, mm^4 < I_c = 3244533333.33 \, mm^4$$

1.4.4.5 Flecha imediata

$$\delta = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times I}$$

$$\delta = \frac{5 \times 43.72 \times 5250^4}{384 \times 3.56 \times 10^{13}} = 12.12 \, mm$$

1.4.4.6 Flecha total

$$\alpha_f = 0.68\alpha_i$$

$$\alpha_{tot} = \alpha_i + \ 0.68\alpha_i = 1.68\alpha_i$$

$$\alpha_{tot} = 1.68 \times 12.367 = \ 20.37mm$$

1.4.4.7 Verificação

Segundo a tabela 13.3 da NBR 6118:2014, temos que o deslocamento limite máximo permitido por razão da limitação visual é de $l/200$. Para a situação mais desfavorável da viga (segunda parte dela), temos:

$$\frac{l}{200} = \frac{525}{200} = 26.2 \, mm > 20.37 \, mm \, \therefore Atende$$

1.4.5 Estado limite de fissuração

$$w_k = \frac{\phi_i}{1.25 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

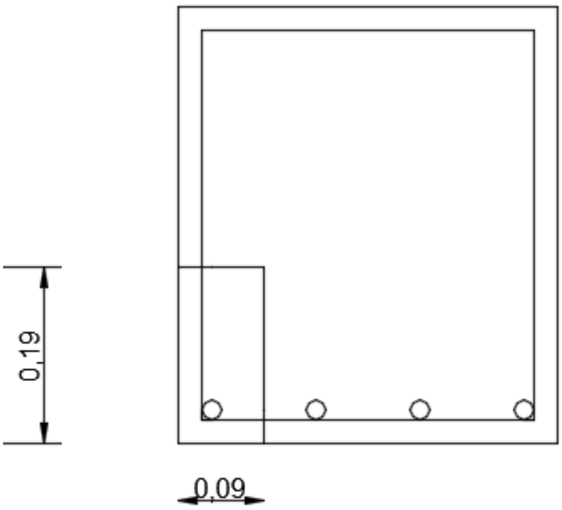
$$w_k = \frac{\phi_i}{1.25 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45\right)$$

$$\eta_1 = 2{,}25\ (barra\ nervurada)$$

$$f_{ctm} = 2.896\ MPa\ (calculado\ em\ 1.1.1)$$

$$E_{si} = 210000 \frac{N}{mm^2}$$

$$\phi_i = 20\ mm$$



$$A_{cr} = (35 + 20 \times 7.5) + (35 + 55)$$

$$A_{cr} = 16650\ mm^2$$

$$\sigma_{si} = \frac{500}{1.15 \times 1.4} = 310.56\ MPa$$

$$\rho_{ri} = \frac{A_s}{A_{cr}} = \frac{1256}{16650} = 0.075$$

$$w_k = \frac{20}{1.25 * 2.25} \frac{310.56}{210000} \frac{3 \times 310.56}{2.896} = 0.34\ mm\ \ governa!$$

$$w_k = \frac{20}{1.25 * 2.25} \frac{310.56}{210000} \left(\frac{4}{0.075} + 45\right) = 0.10\ mm$$

1.4.6 Vistas transversais

$$e_v \geq \begin{cases} 2\ cm \\ \phi \\ 0.5\ d_{\{max\}} \end{cases}$$

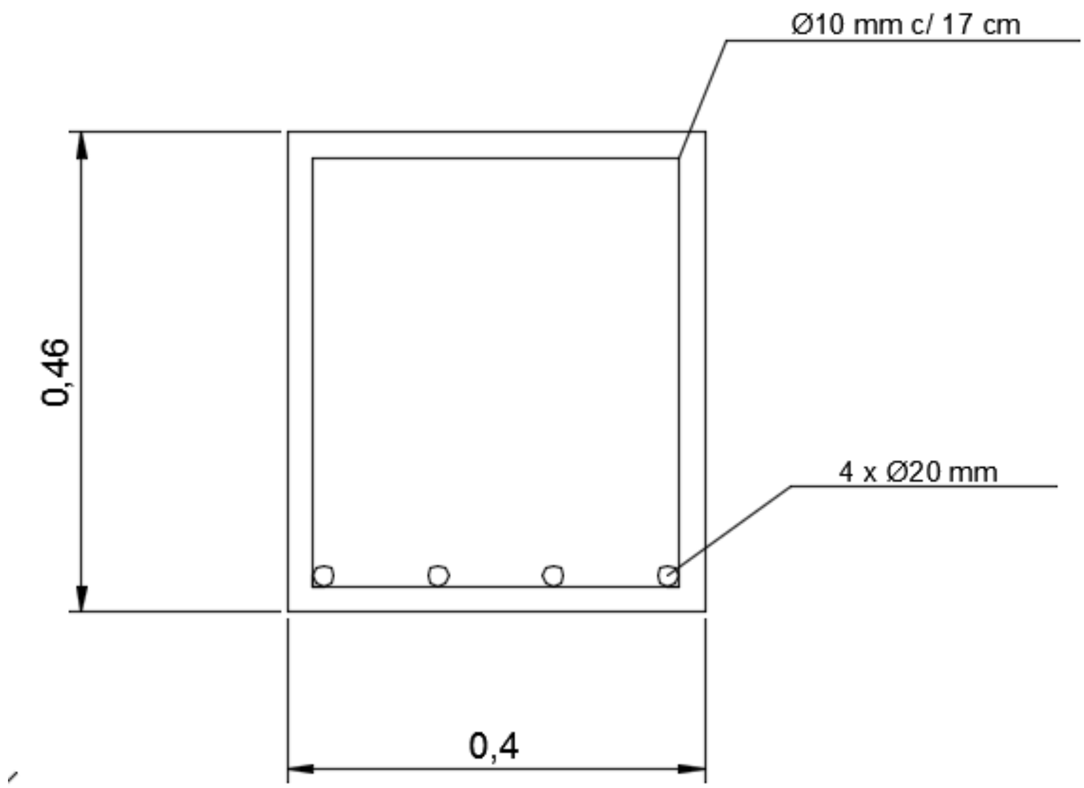
$$e_h \geq \begin{cases} 2\ cm \\ \phi \\ 1.2\ d_{\{max\}} \end{cases}$$

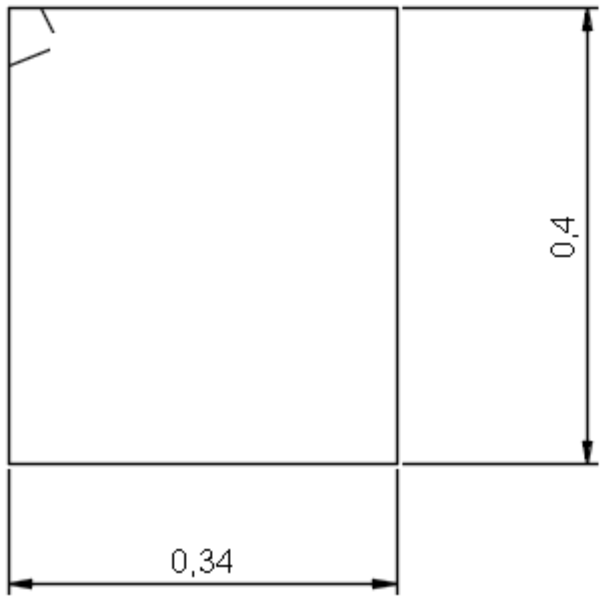
Como não temos essa informação, vamos considerar que o diâmetro máximo do agregado ($d_{\{max\}}$) não seja um limitador nos espaçamentos.

$$\phi = 1{,}25\ cm$$

$$e_v \geq 2cm$$
$$e_h \geq 2cm$$

Assim, temos:





1.4.7 Vista Longitudinal

1.4.7.1 Comprimento de ancoragem

1.4.7.1.1 Situação de boa aderência (momento positivo)

$$f_{bd}^{+} = 3.26\ N/mm^2$$

$$l_b^{+} = \frac{\phi \times f_{yd}}{4 \times f_{bd}^{+}} \geq 25 \times \phi$$

$$= \frac{20 \times 434.8}{4 \times 3.26} \geq 25 \times 20$$

$$= 466.8\ mm$$

1.4.7.2 Decalagem

Como os estribos estão a 90º, então:

$$a_l = 0.5 \times d$$

$$= 0.5 \times\ 435$$

$$= 217.50mm$$

1.4.7.3 Área mínima até o apoio

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d \times a_l}{f_{yd} \times d} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d \times 217.5}{434.8 \times 435} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d}{869.6\, N/mm^2} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

1.4.7.3.1 Área mínima no apoio da esquerda

$$V_d = 160.7kN$$

$$A_{min_1} = 418.67\, mm^2$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{160.7\, kN}{86{,}96\, kN/cm^2} \geq 418.67\ \mathrm{mm}^2$$

$$A_{s_{apoio}} = 184.79mm^2$$

1.4.7.3.2 Área mínima no apoio da direita

$$V_d = 160.7kN$$

$$A_{min_1} = 418.67\, mm^2$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{160.7\, kN}{86{,}96\, kN/cm^2} \geq 418.67\ \mathrm{mm}^2$$

$$A_{s_{apoio}} = 184.79mm^2$$

1.4.7.4 Retirada de barras

Lembrando que devemos ter ao menos 2 barras para respeitar a área mínima e que tiramos as tiramos em pares.

Cálculo para 3 barras:

$$\omega = \frac{\mathrm{A_s} \times \mathrm{f_{yd}}}{\mathrm{b} \times \mathrm{d} \times \mathrm{f_{cd}}}$$

$$\omega = \frac{628 \times 434.8}{400 \times 435 \times (30/1,4)}$$

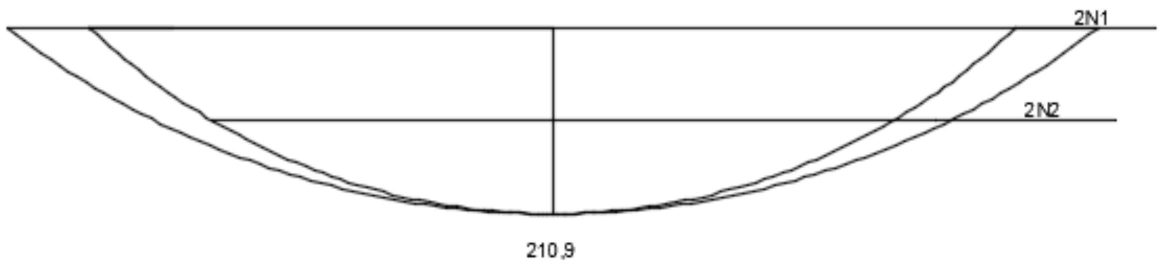
$$\omega = 0.073 \therefore \mu_d = 0.10$$

$$M_{sd} = \mu_d \times b \times d^2 \times f_{cd}$$

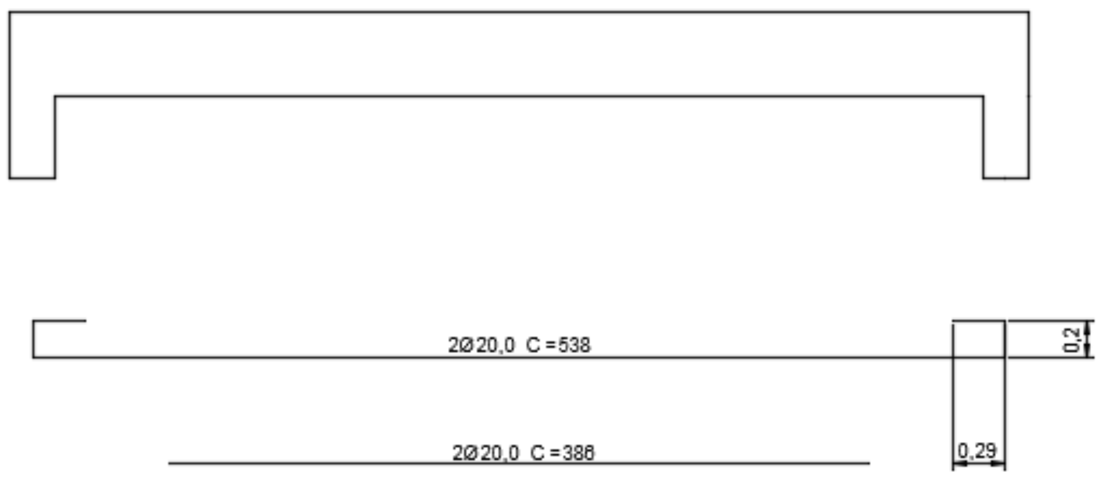
$$M_{sd} = 0.10 \times 40 \times 46^2 \times 3/1,4$$

$$M_{sd} = 18137.14\ kNcm = 181,37\ kNm$$

1.4.7.4.1 Diagrama de momento fletor decalado com as barras



1.4.7.4.2 Vista longitudinal



1.5 Viga 53

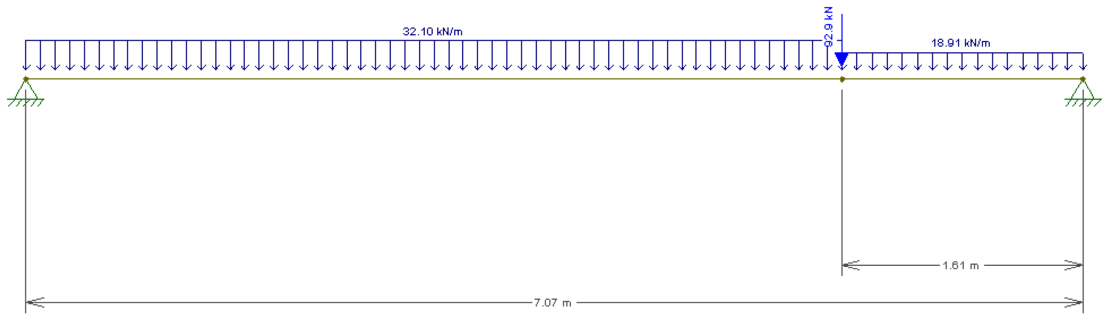
Dados:

$$b = 200mm$$
$$d = 935mm$$
$$h = 960mm$$

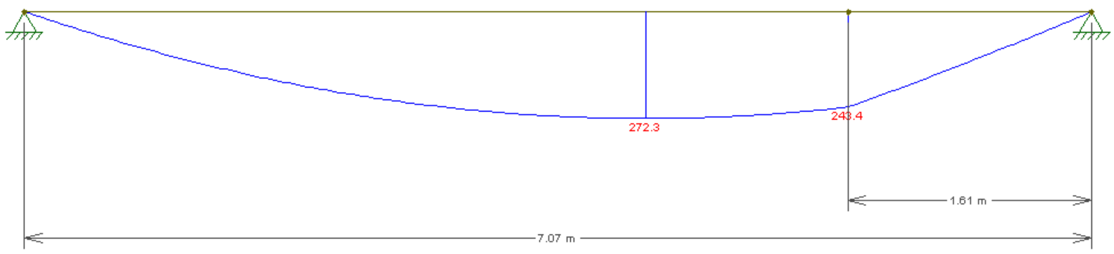
$$\phi_i = 10.0\ mm$$

$$A_s = 706.50\ mm^2\ (maior\ armadura)$$

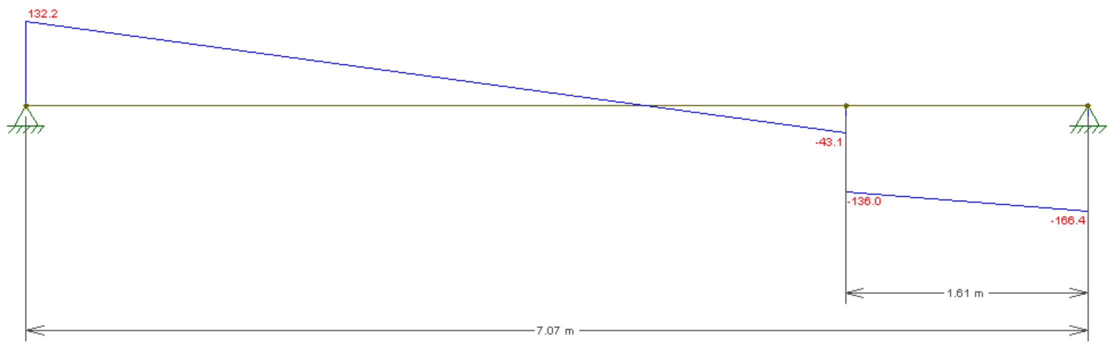
1.5.1 Esforços de projeto



1.5.2 Diagrama de momento fletor de projeto



1.5.3 Diagrama de cortante de projeto



1.5.4 Verificação de flecha

1.5.4.1 Momento de Inércia da seção bruta

$$I_c = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{200 \times 960^3}{12} = 14745600000\, mm^4$$

1.5.4.2 Momento de fissuração

$$M_r = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{\frac{h}{2}}$$

$$= \frac{1.5 \times 2.896 \times 14745600000}{480}$$

$$= 133469252.53 Nmm \approx 133.47 kNm$$

1.5.4.3 Momento de inércia no estádio 2

1.5.4.3.1 Linha neutral no estádio 2

$$x_2 = \frac{-a_2 + \sqrt{{a_2}^2 - 4 \times a_1 \times a_3}}{2 \times a_1}$$

Sendo:

$$a_1 = \frac{200}{2} = 100mm$$

$$a_2 = A_s \times \alpha_e$$

$$= 706.50mm^2 \times 8.05 \approx 5690.68mm^2$$

$$a_3 = -a_2 \times d$$

$$= -5690.68 \times 935 = -5320782.32mm^3$$

1.5.4.3.2 Linha neutra no estádio 2

$$x_2 = \frac{-5690.68 + \sqrt{5690.68^2 + 4 \times 100 \times 5320782.32}}{2 \times 100}$$

$$= 203.96\, mm$$

1.5.4.3.3 Momento de inércia no estádio 2

$$I_2 = \frac{b \times \{x_2\}^3}{3} + \alpha_e \times A_s \times (x_2 - d)^2$$

$$I_2 = \frac{200 \times \{203.96\}^3}{3} + 8.05 \times 706.50 \times (203.96 - 935)^2$$

$$I_2 = 3606853003\, mm^4$$

1.5.4.4 Momento de Inércia a ser usado

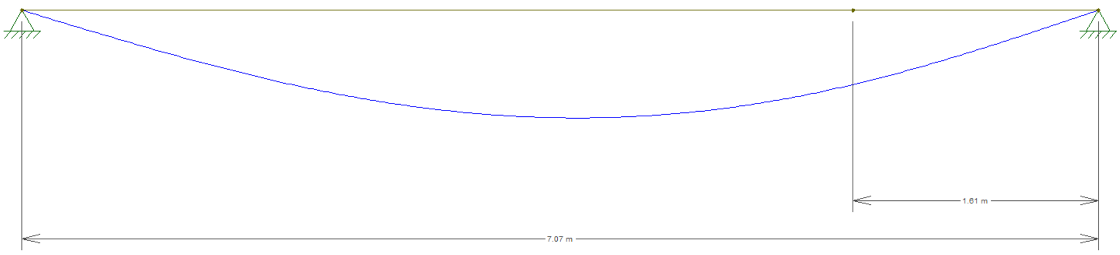
$$M_a = 194100000 \text{ N mm}$$

$$EI = E_{si} \times \left(\left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3 \times I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3\right] * I_2 \right)$$

$$EI = E_{si} \times \left(\left(\frac{133.47}{194.10}\right)^3 \times 14745600000 + \left[1 - \left(\frac{133.47}{194.10}\right)^3\right] \times 3606853003 \right)$$

$$= 1.88 \times 10^{14}\, mm^4 < I_c = 14745600000\, mm^4$$

1.5.4.5 Flecha imediata



$$\delta = 5.42\, mm$$

1.5.4.6 Flecha total

$$\alpha_f = 0.68\alpha_i$$

$$\alpha_{tot} = \alpha_i + 0.68\alpha_i = 1.68\alpha_i$$

$$\alpha_{tot} = 1.68 \times 5.42 = 9.11 mm$$

1.5.4.7 Verificação

Segundo a tabela 13.3 da NBR 6118:2014, temos que o deslocamento limite máximo permitido por razão da limitação visual é de $l/200$. Para a situação mais desfavorável da viga (segunda parte dela), temos:

$$\frac{l}{200} = \frac{707.50}{200} = 3.54\ cm > 9.11\ mm\ \therefore\ Atende$$

1.5.5 Estado limite de fissuração

$$w_k = \frac{\phi_i}{1.25 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

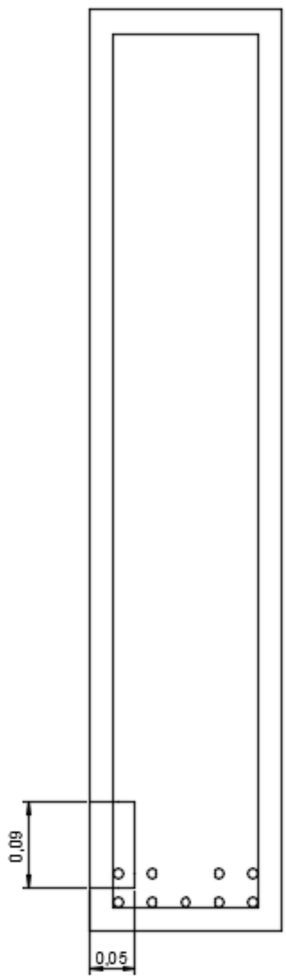
$$w_k = \frac{\phi_i}{1.25 * \eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45\right)$$

$$\eta_1 = 2{,}25\ (barra\ nervurada)$$

$$f_{ctm} = 2.896\ MPa\ (calculado\ em\ 1.1.1)$$

$$E_{si} = 210000 \frac{N}{mm^2}$$

$$\phi_i = 10\ mm$$



$$A_{cr} = (30 + 10 \times 7.5) + (30 + 40)$$

$$A_{cr} = 7350\ mm^2$$

$$\sigma_{si} = \frac{500}{1.15 \times 1.4} = 310.56\ MPa$$

$$\rho_{ri} = \frac{A_s}{A_{cr}} = \frac{706.50}{7350} = 0.096$$

$$w_k = \frac{10}{1.25 * 2.25} \frac{310.56}{210000} \frac{3 \times 310.56}{2.896} = 0.17\ mm\ \ governa!$$

$$w_k = \frac{10}{1.25 * 2.25} \frac{310.56}{210000} \left(\frac{4}{0.096} + 45\right) = 0.045\ mm$$

1.5.6 Vistas transversais

$$e_v \geq \begin{cases} 2\ cm \\ \phi \\ 0.5\ d_{\{max\}} \end{cases}$$

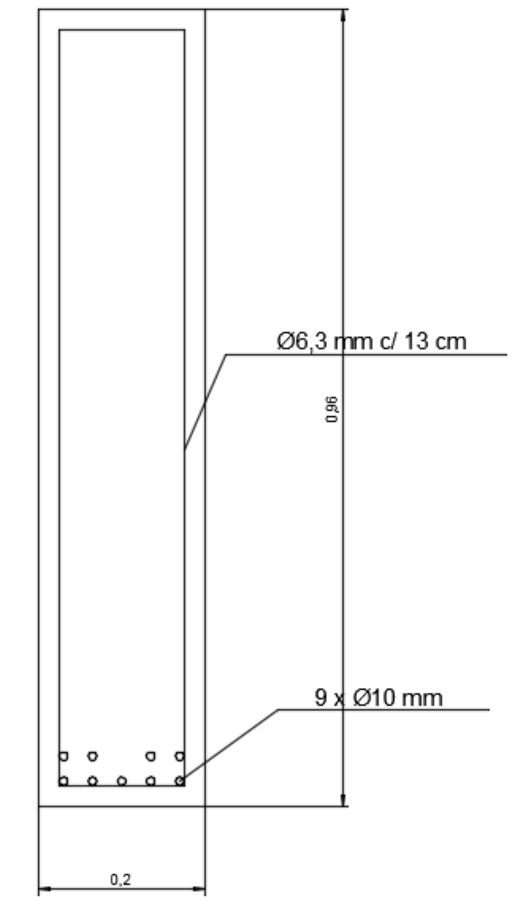
$$e_h \geq \begin{cases} 2\ cm \\ \phi \\ 1.2\ d_{\{max\}} \end{cases}$$

Como não temos essa informação, vamos considerar que o diâmetro máximo do agregado ($d_{\{max\}}$) não seja um limitador nos espaçamentos.

$$\phi = 1{,}25\ cm$$

$$e_v \geq 2cm$$
$$e_h \geq 2cm$$

Assim, temos:



Para os cortes em escala, consultar plantas em anexo.

1.5.7 Vista Longitudinal

1.5.7.1 Comprimento de ancoragem

1.5.7.1.1 Situação de boa aderência (momento positivo)

$$f_{bd}^{+} = 3.26\ N/mm^2$$

$$l_b^{+} = \frac{\phi \times f_{yd}}{4 \times f_{bd}^{+}} \geq 25 \times \phi$$

$$= \frac{10 \times 434.8}{4 \times 3.26} \geq 25 \times 10$$

$$= 690.13.8\ mm$$

1.5.7.2 Decalagem

Como os estribos estão a 90º, então:

$$a_l = 0.5 \times d$$

$$= 0.5 \times \ 935$$

$$= 467.50mm$$

1.5.7.3 Área mínima até o apoio

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d \times a_l}{f_{yd} \times d} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d \times 467.5}{434.8 \times 935} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{V_d}{869.60 \ N/mm^2} \geq \frac{A_{s_{vão}}}{3}$$

1.5.7.3.1 Área mínima no apoio da esquerda

$$V_d = 166.4kN$$

$$A_{min_1} = 235 \ mm^2$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{166.4 \ kN}{86{,}96 \ kN/cm^2} \geq 191.35 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{apoio}} = 191.35mm^2$$

1.5.7.3.2 Área mínima no apoio da direita

$$V_d = 166.4kN$$

$$A_{min_1} = 235 \ mm^2$$

$$A_{s_{apoio}} = \frac{166.4 \ kN}{86{,}96 \ kN/cm^2} \geq 235 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{apoio}} = 235mm^2$$

1.5.7.4 Retirada de barras

Lembrando que devemos ter ao menos 2 barras para respeitar a área mínima e que tiramos as tiramos em pares.

Cálculo para 3 barras:

$$\omega = \frac{\mathrm{A_s} \times \mathrm{f_{yd}}}{\mathrm{b} \times \mathrm{d} \times \mathrm{f_{cd}}}$$

$$\omega = \frac{235 \times 434.8}{200 \times 935 \times (30/1{,}4)}$$

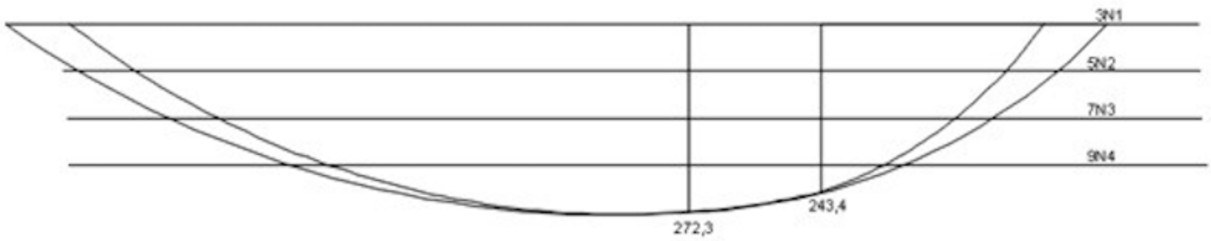
$$\omega = 0.073 \therefore \mu_d = 0.10$$

$$M_{sd} = \mu_d \times b \times d^2 \times f_{cd}$$

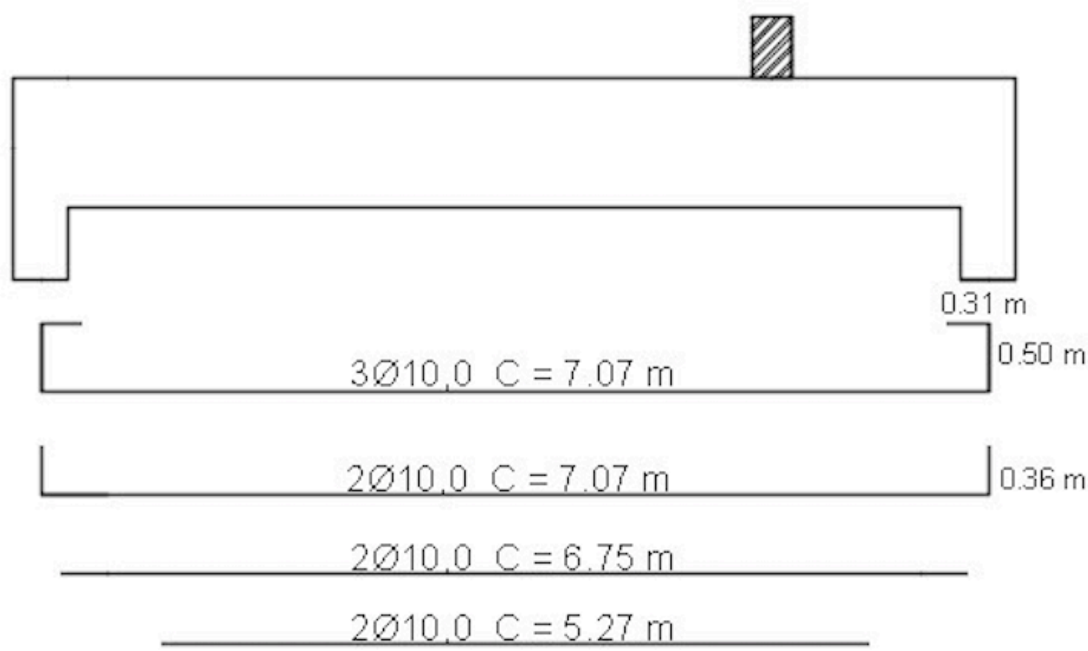
$$M_{sd} = 0.10 \times 40 \times 46^2 \times 3/1{,}4$$

$$M_{sd} = 18137.14\ kNcm = 181{,}37\ kNm$$

1.5.7.4.1 Diagrama de momento fletor decalado com as barras



1.5.7.4.2 Vista longitudinal



2 Pilares

2.1 Pilar 25

2.1.1 Comprimento Equivalente

$$l_e = l_0 + h = 4500 + 1850 = 6350\ mm$$

$$l_e = l = 4500 + 960 = 5460\ mm$$

Como se deve adotar o menor dos valores encontrados:

$$l_{sup} = l_e = 5460 \text{ mm}$$
$$l_{inf} = 3350 + 960 = 4310 \text{ mm}$$

2.1.2 Raio de Giração

$$A = B \times H$$

$$A = 30cm\ x\ 185cm = 555000\ mm^2$$

Para o eixo x:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{1850 \times 300^3/_{12}}{555000}} = 86{,}60\ mm$$

$$\lambda_x = \frac{l_e}{i_x} = \frac{5460}{86{,}60} = 63{,}05$$

Para o eixo y:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{300 \times 1850^3/_{12}}{555000}} = 534{,}05\ mm$$

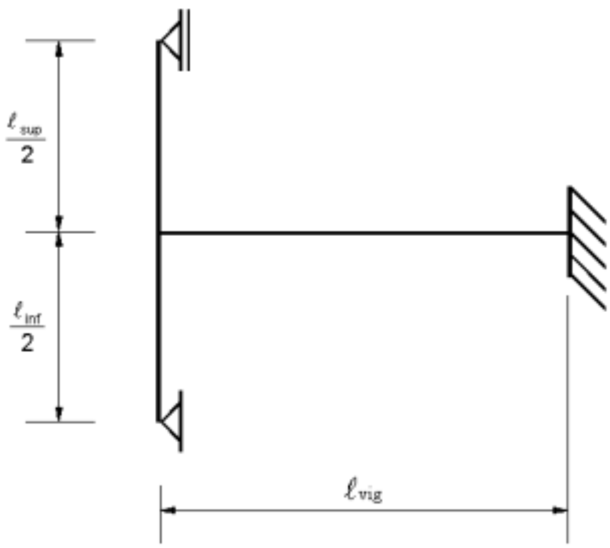
$$\lambda_y = \frac{l_e}{i_y} = \frac{5460}{534{,}05} = 10{,}22$$

Constatações:

$$I_{menor} = 4162500000\ mm^3$$

$$\lambda_{maior} = 63{,}05$$

2.1.3 Rigidez



$$r_{sup} = \frac{I_{sup}}{l_{sup}/_2} = \frac{4{,}16 \times 10^9}{5460/_2} = 1524725{,}28\ mm^3$$

$$r_{inf} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/_2} = \frac{4{,}16 \times 10^9}{4310/_2} = 1931554{,}52\ mm^3$$

Andar superior:

$$r_{sup} = \frac{I_{sup}}{l_{sup}/_2} = \frac{4{,}16 \times 10^9}{(3040\ +\ 960)/_2} = 2080000\ mm^3$$

$$r_{inf} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/_2} = \frac{4{,}16 \times 10^9}{5460/_2} = 1524725\ mm^3$$

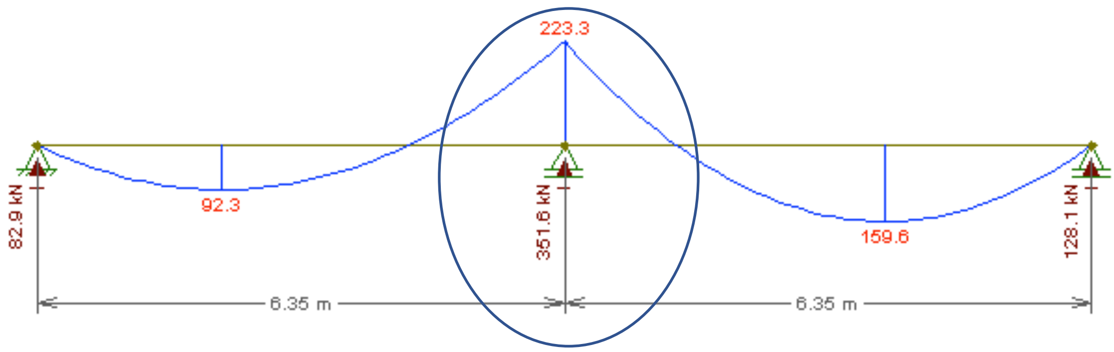
Andar inferior:

$$r_{sup} = \frac{I_{sup}}{l_{sup}/_2} = \frac{4{,}16 \times 10^9}{4310/_2} = 1931554\ mm^3$$

$$r_{inf} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/_2} + \frac{4{,}16 \times 10^9}{(2080\ +\ 960\ )/_2} = 2736842\ mm^3$$

2.1.4 Cargas e Momentos

2.1.4.1 Viga 70



$$N = 351{,}6\ kN$$

$$M = 223{,}3\ kNm$$

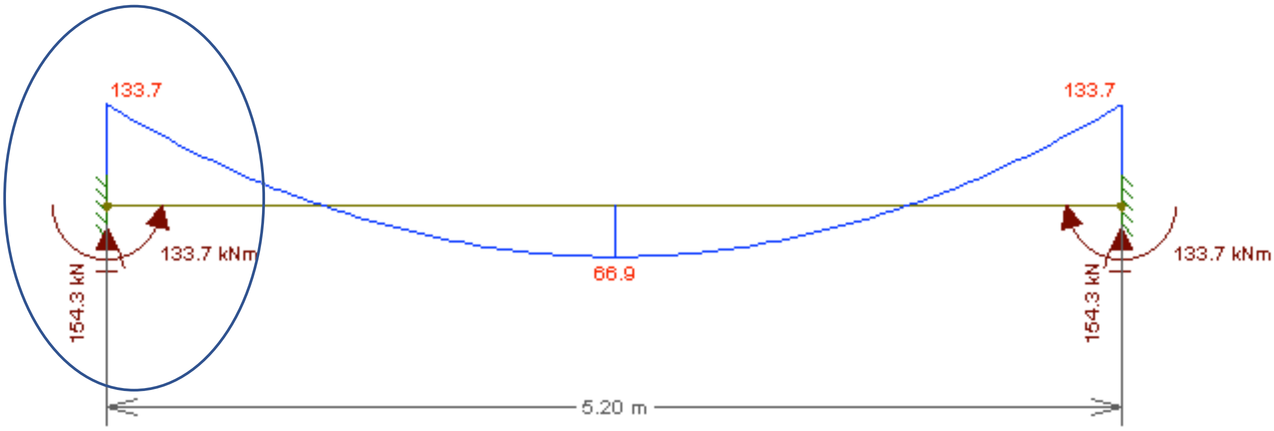
2.1.4.2 Viga 24

A viga sofre carregamento da laje 24 e 33, aproveitando os cálculos da página V70-1 do projeto de concreto 1, temos que:

$$R_{L24} = \frac{(1{,}4 * 9 * (6{,}3 * 6{,}375 - 2 * 7{,}263774)/2)}{6{,}375}\ =\ 25{,}33\,\frac{kN}{m}$$

$$R_{L33} = 34{,}01\frac{kN}{m}\ (L28/9)$$

$$q_{V25} = 25{,}33 + 34{,}01 = 59{,}34\frac{kN}{m}$$



$N = 154{,}3\ kN$ (retirado da imagem)

$$r_{vig} = \frac{I_{viga}}{l_{viga}} = \frac{3658666667}{5200} = 703.589{,}74\ mm^3$$

$$M_{eng} = 133{,}7\ kNm$$

$$M_{sup} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{sup}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}} = 46{,}39\ kNm$$

$$M_{inf} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{inf}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}} = 58{,}77\ kNm$$

Andar superior:

$$r_{sup} = 2080000\ mm^3$$

$$r_{inf} = 1524725\ mm^3$$

$$M_{infi+1} = 133{,}7 \times \frac{3 \times 1524725}{4 \times 703589{,}74 + 3 \times 1524725 + 3 \times 2080000} = 44{,}87\ kNm$$

Andar inferior:

$$r_{sup} = 1931554\ mm^3$$

$$r_{inf} = 2736842\ mm^3$$

$$M_{supi-1} = 133{,}7 \times \frac{3 \times 1931554}{4 \times 703589{,}74 + 3 \times 2736842 + 3 \times 1931554} = 46{,}06kNm$$

Considerando os efeitos dos outros andares, temos:

$$M_{d,topo} = 46{,}39 + 0{,}5 * 44{,}87 \cong 69{,}58\ kNm$$

$$M_{d,base} = 58{,}77 + 0{,}5 * 46{,}06 \cong 88{,}15\ kNm$$

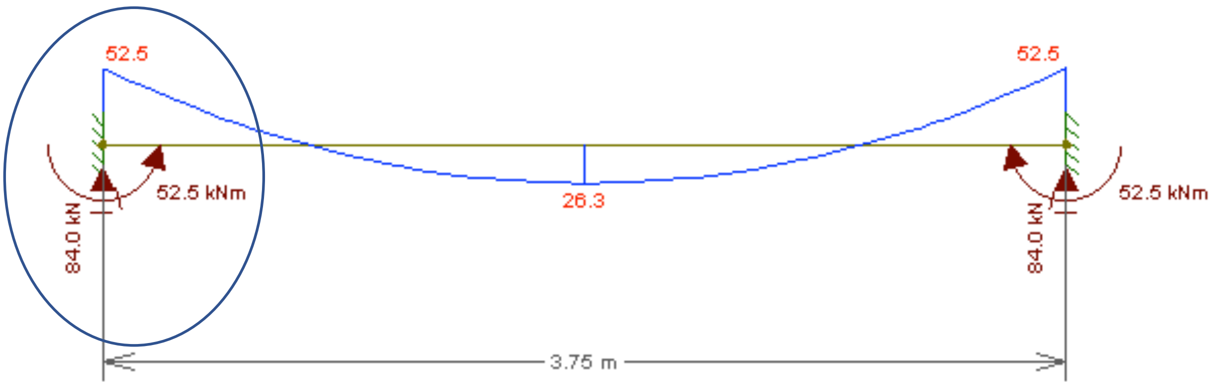
2.1.4.3 Viga 25

A viga sofre carregamento da laje 34 e 25, aproveitando os cálculos da página V70-1 do projeto de concreto 1, temos que:

$$R_{L34} = \frac{(1{,}4 * 14 * (6{,}4 * 4{,}5805 - 2 * 5{,}728905)/4)}{4{,}5805} = 19{,}10 \frac{kN}{m}$$

$$R_{L25} = \frac{(1{,}4 * 14 * (6{,}35 * 5{,}25 - 2 * 9{,}778125)/2)}{5{,}25} = 25{,}72 \frac{kN}{m}$$

$$q_{V25} = 19{,}10 + 25{,}72 = 44{,}82 \frac{kN}{m}$$



$N = 84\ kN$ (retirado da imagem)

$$r_{vig} = \frac{I_{viga}}{l_{viga}} = \frac{2433400000}{3750} = 648.906{,}67\ mm^3$$

$$M_{eng} = 52{,}5\ kNm$$

$$M_{viga} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}}$$

$$M_{sup} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{sup}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}} = 18{,}52\ kNm$$

$$M_{inf} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{inf}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}} = 23{,}47\ kNm$$

Andar superior:

$$r_{sup} = 2080000\ mm^3$$

$$r_{inf} = 1524725\ mm^3$$

$$M_{infi+1} = 52{,}5\ \times \frac{3 \times 1524725}{4 \times 648906{,}67 + 3 \times 1524725 + 3 \times 2080000} = 17{,}91\ kNm$$

Andar inferior:

$$r_{sup} = 1931554\ mm^3$$

$$r_{inf} = 2736842\ mm^3$$

$$M_{supi-1} = 52{,}5 \times \frac{3 \times 1931554}{4 \times 648906{,}67 + 3 \times 2736842 + 3 \times 1931554} = 18{,}33\ kNm$$

Considerando os efeitos dos outros andares, temos:

$$M_{d,topo} = 18{,}52 + 0{,}5 * 17{,}91\ \cong 27{,}78\ kNm$$

$$M_{d,base} = 23{,}47 + 0{,}5 * 18{,}33\ \cong 35{,}21\ kNm$$

2.1.5 Excentricidade de Primeira Ordem

2.1.5.1 Excentricidade Inicial

2.1.5.1.1 Carga normal no pilar

$$N_{andar} = \sum N_{vigas}$$

$$N_{andar} = 351{,}6 + 154{,}3 + 84 = 589{,}9kN$$

$$N_{19_{andares}} = 19 * 589{,}9 = 11208{,}1\ kN$$

$$H = 450 + 14 * 304 + 361 + 304 + 265 + 275 = 5911\ cm = 59{,}11\ m$$

$$Peso\ próprio = b * h * H * \gamma$$

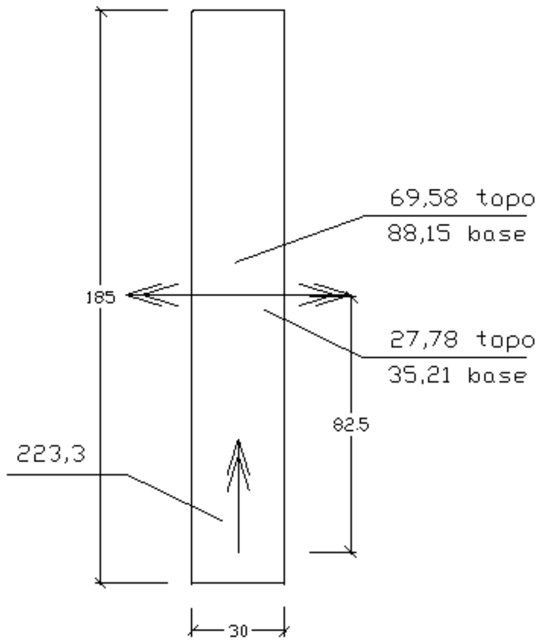
$$Peso\ próprio = (1{,}85 * 0{,}30 * 59{,}11) * 25 = 820{,}15\ kN$$

$$N = Peso\ próprio + N_{19_{andares}}$$

$$N = 820{,}15 + 11208{,}10 = 12028{,}25\ kN$$

2.1.5.1.1 Momento no pilar

Momentos de engastamento calculados no pilar (em kNm):



Consideraremos o eixo x paralelo à menor largura e y à maior largura.

$$Mx = 223{,}3\ kNm$$

$$e_{ix} = \frac{22330}{12028{,}25} = 1{,}86\ cm$$

A carga de uma viga chega excêntrica em 82,5cm e isso provoca um momento em y, além daqueles já calculados:

$$351{,}6kN * 82{,}5cm = \ 290{,}07\ kNm\ \ -\!\!>>$$

A pior situação no pilar ocorrerá no topo:

$$My = 290{,}07 - 69{,}58 + 27{,}78 = 248{,}27\ kNm$$

$$e_{iy} = \frac{24827}{12028{,}25} = 2{,}06\ cm$$

2.1.6 Excentricidade Acidental

2.1.6.1 Imperfeições Globais

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \times \sqrt{l}}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \times \sqrt{59.11}} = 0{,}00013$$

$$\theta_a = \theta_1 \times \sqrt{\frac{1 + {}^{1}/_{n}}{2}}$$

$$\theta_a = 0{,}0010$$

2.1.6.2 Imperfeições Locais

$$e_a = \theta_1 \times \frac{l}{2}$$

$$e_a = 0{,}0010 \times \frac{546}{2} \geq \frac{546}{600}$$

$$= 0{,}91\ cm$$

“Nas estruturas reticuladas usuais admite-se que o efeito das imperfeições locais esteja atendido se for respeitado esse valor de momento total mínimo. A este momento devem ser acrescidos os momentos de 2a ordem”

2.1.7 Momento Mínimo

$$M_{1d,minx} = N_d \times (0.015 + 0.03 \times h_x)$$

$$M_{1d,minx} = 12028{,}25 \times (0.015 + 0.03 \times 0{,}3) = 288{,}68\ kNm$$

$$e_{i_{minx}} = (0.015 + 0.03 \times 0{,}3) = 1{,}59 cm$$

$$M_{1d,miny} = N_d \times \left(0.015 + 0.03 \times h_y\right)$$

$$M_{1d,miny} = 12028{,}25 \times (0.015 + 0.03 \times 1{,}85) = 847{,}99\ kNm$$

$$e_{i_{miny}} = (0.015 + 0.03 \times 1{,}85) = 7{,}05\ cm$$

$$e_{i_x} = 1{,}86\ cm$$

$$e_{i_y} = 7{,}05\ cm\ (mínimo)$$

2.1.8 Excentricidade Suplementar

Não precisará ser considerado porque $\lambda's < 90$

2.1.9 Esbeltes Limite

$$\alpha_b = 1\ (porque\ é\ mínima)$$

$$\lambda_1 = \frac{25 + 12.5 \times {}^{e_1}/_{h}}{\alpha_b}$$

$$\alpha_b = 0{,}60 + 0{,}40 * \frac{M_b}{M_a} \geq 0{,}40$$

Em x:

$$\alpha_b = 0{,}60 + 0{,}40 * \frac{N_d * (-1{,}86)}{N_d * (1{,}86)} \geq 0{,}40$$

$$\alpha_b = 0{,}60 - 0{,}40 \geq 0{,}40$$

$$\alpha_b = 0{,}40$$

$$\lambda_{1_x} = \frac{25 + 12{,}5 \times {}^{1{,}86}/_{30}}{0{,}4} = 63$$

Em y:

$$\alpha_b = 1\ (porque\ moemento\ é\ mínimo)$$

$$\lambda_{1_y} = \frac{25 + 12.5 \times {}^{2{,}06}/_{185}}{1} = 25{,}14 => 35$$

$$\lambda_x = 63{,}05\ (esbelto)$$

$$\lambda_y = 10{,}22\ (curto)$$

2.1.10 Método de Curvatura Aproximada

Em x:

$$v = \frac{N_d}{A_c * f_{cd}}$$

$$v = \frac{12028,25}{5550 * 21,42} = 0,1012$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h \times (v + 0.5)} \leq \frac{0.005}{h}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{30 \times (0,10 + 0.5)} \leq \frac{0.005}{30}$$

$$\frac{1}{r} = 0,0002778 \leq 0,0001667$$

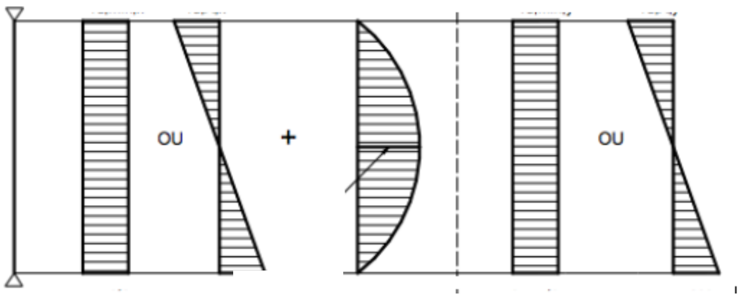
$$\frac{1}{r} = 0,0001667\ cm^{-1}$$

$$e_2 = \frac{l_e^2}{10 \times r}$$

$$e_{2x} = \frac{546^2}{10} * 0,0001667 = 4,97$$

2.1.11 Excentricidade Total

X à esquerda e y à direita:



Pior situação de cálculo:

$$e_x = 1,86 + 4,97 + 0,91 = 7,47\ cm$$

$$e_y = 7,05 + 0 + 0 = 7,05\ cm$$

2.1.12 Armadura Longitudinal

$$v = \frac{N_{sd}}{A_c * f_{cd}}$$

$$v = \frac{12028,25}{5550 * 21,42} = 0,1012$$

$$\mu_x = \frac{\nu * e_x}{h_x}$$

$$\mu_x = \frac{0{,}1012 * 7{,}47}{30} = 0{,}025$$

$$\mu_y = \frac{\nu * e_y}{h_y}$$

$$\mu_y = \frac{0{,}1012 * 7{,}05}{185} = 0{,}004 => Influência\ quase\ nula$$

$$\frac{d_x'}{h_x} = \frac{2{,}5}{30} = 0{,}083$$

$$\frac{d_y'}{h_y} = \frac{2{,}5}{185} = 0{,}014$$

Consultando o ábaco 38A:

$$\omega \cong 0{,}05$$

$$A_s = \omega \frac{A_c * f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$A_s = 0{,}05 * \frac{5550 * 21{,}42}{\frac{50}{1{,}15}} = 136{,}71\ cm^2$$

Áreas mínimas e máximas:

$$A_{s_{min}} = 0{,}15 * \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0{,}004 * A_c$$

$$A_{s_{min}} = 0{,}15 * \frac{12028{,}25}{\frac{50}{1{,}15}} \geq 0{,}004 * 5550$$

$$A_{s_{min}} = 41{,}29\ cm^2 \geq 22{,}2 cm^2$$

$$A_{s_{max}} = 0{,}08 * 5550 = 444\ cm^2$$

Logo, temos:

$$A_s = 136{,}71\ cm^2$$

O ábaco possui apenas 10 armaduras como padrão, porém nem 10 barras de 40mm (125cm²) seriam suficientes para termos a área, então iremos usar 18 barras de 32mm (144 cm²).

2.1.13 Estribos

2.1.13.1 Diâmetro

$$\phi \geq \begin{cases} 5\ mm \\ \dfrac{\phi_l}{4} \end{cases}$$

$$\phi \geq \begin{cases} 5\ mm \\ \dfrac{32\ mm}{4} \end{cases}$$

$$\phi \geq 8\ mm$$

Usaremos 8mm

2.1.13.2 Espaçamento

$$s_{máx} \leq \begin{cases} 20\ cm \\ b \\ 12\phi_l\ (CA50) \end{cases}$$

$$s_{máx} \leq \begin{cases} 20\ cm \\ 30\ cm \\ 12 * 3{,}2\ (CA50) \end{cases}$$

$$s_{máx} \leq 20\ cm$$

$$s_{máx} \leq 90000 \frac{\phi_t^2}{\phi_l} * \frac{1}{f_{yk}}$$

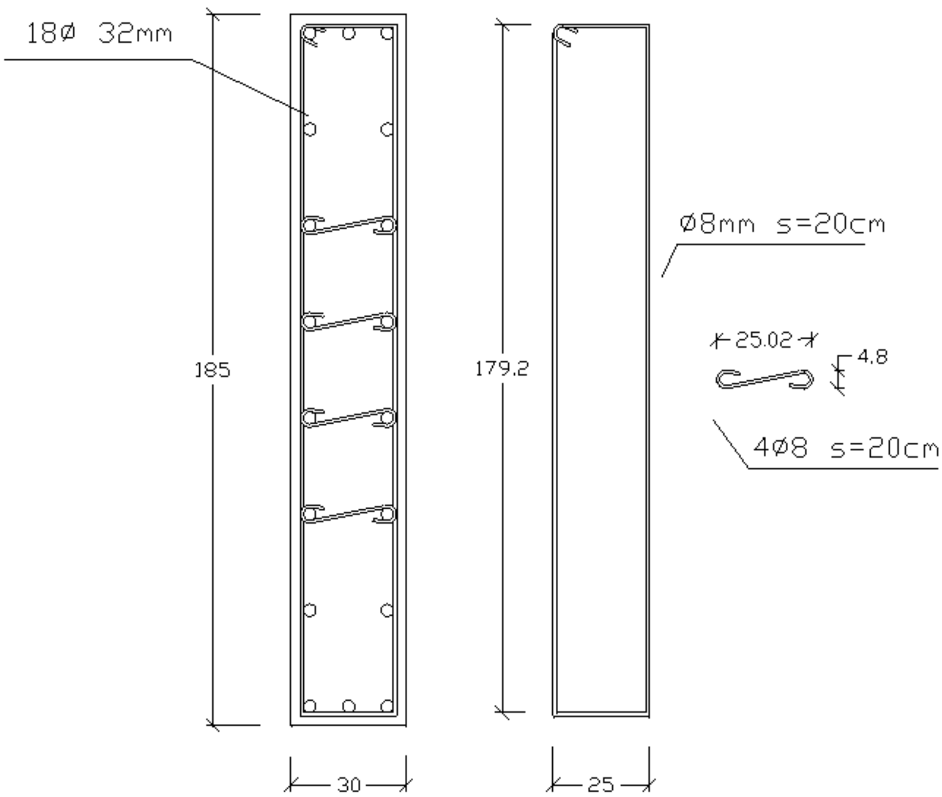
$$s_{máx} \leq 90000 \frac{8^2}{32} * \frac{1}{\frac{500}{1{,}15}} = 414\ mm = 41{,}4\ cm$$

$$s_{máx} = 20\ cm$$

2.1.13.3 Proteção contra flambagem

$$l_{prot} = 20 * 0{,}8 = 16\ cm$$

2.1.13.4 Detalhe



2.2 Pilar 42

2.2.1 Comprimento Equivalente

$$l_e = l_0 + h = 4500 + 1775 = 6275\ mm$$

$$l_e = l = \ 4500 + 560 = 5060\ mm$$

Como se deve adotar o menor dos valores encontrados:

$$l_{sup} = l_e = 5060 \text{ mm}$$
$$l_{inf} = 3350 + 560 = 3910 \text{ mm}$$

2.2.2 Raio de Giração

$$A = B \times H$$

$$A \ = \ 25cm\ x\ 177{,}5cm \ = \ 443750\ mm^2$$

Para o eixo x:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{1775 \times 250^3/_{12}}{443750}} = 72,17\ mm$$

$$\lambda_x = \frac{l_e}{i_x} = \frac{5060}{72,17} = 70,11$$

Para o eixo y:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{250 \times 1775^3/_{12}}{443750}} = 512,40\ mm$$

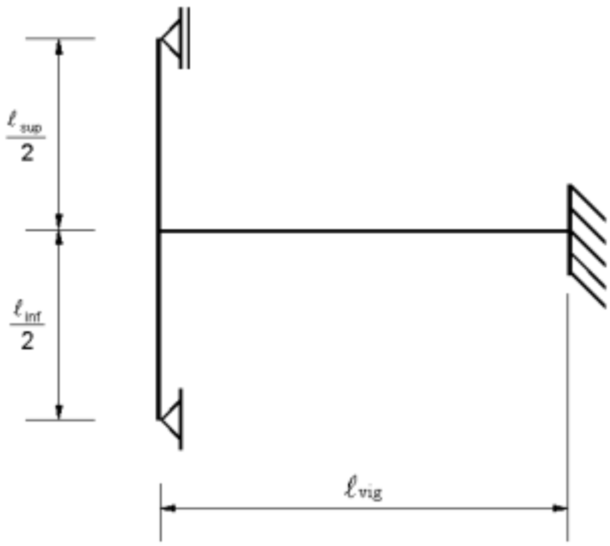
$$\lambda_y = \frac{l_e}{i_y} = \frac{5060}{512,40} = 9,87$$

Constatações:

$$I_{menor} = 2311197916\ mm^3$$

$$\lambda_{maior} = 72,17$$

2.2.3 Rigidez



$$r_{sup} = \frac{I_{sup}}{l_{sup}/_2} = \frac{2,31 \times 10^9}{5060/_2} = 913516,96\ mm^3$$

$$r_{inf} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/_2} = \frac{2,31 \times 10^9}{3910/_2} = 1182198,42\ mm^3$$

Andar superior:

$$r_{sup} = \frac{I_{sup}}{l_{sup}/_2} = \frac{2,31 \times 10^9}{(3040\ +\ 560)/_2} = 1283333\ mm^3$$

$$r_{inf} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/_2} = \frac{2,31 \times 10^9}{5060/_2} = 913043\ mm^3$$

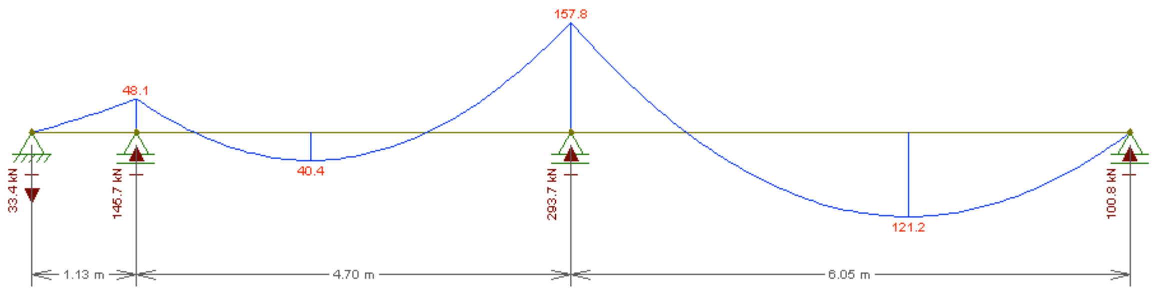
Andar inferior:

$$r_{sup} = \frac{I_{sup}}{l_{sup}/_2} = \frac{2,31 \times 10^9}{3910/_2} = 1181585\ mm^3$$

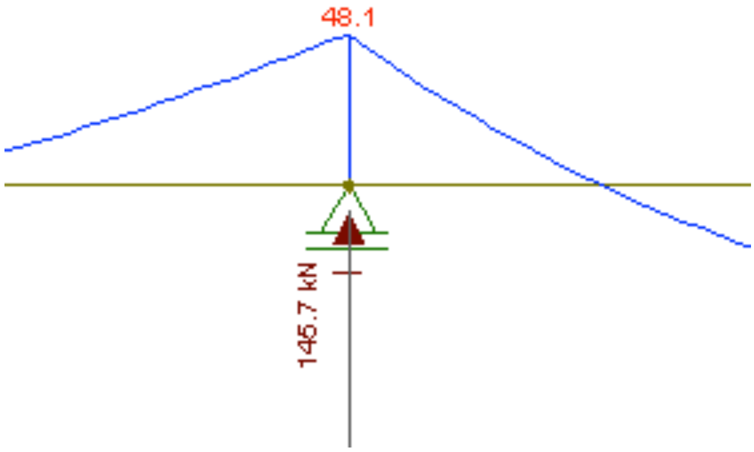
$$r_{inf} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/_2} = \frac{2,31 \times 10^9}{(2080\ +\ 560\ )/_2} = 1750000\ mm^3$$

2.2.4 Cargas e Momentos

2.2.4.1 Viga 47



Ampliando:



$N = 145,7\ kN$ (retirado da imagem)

$M = 48,1\ kNm$ (retirado da imagem)

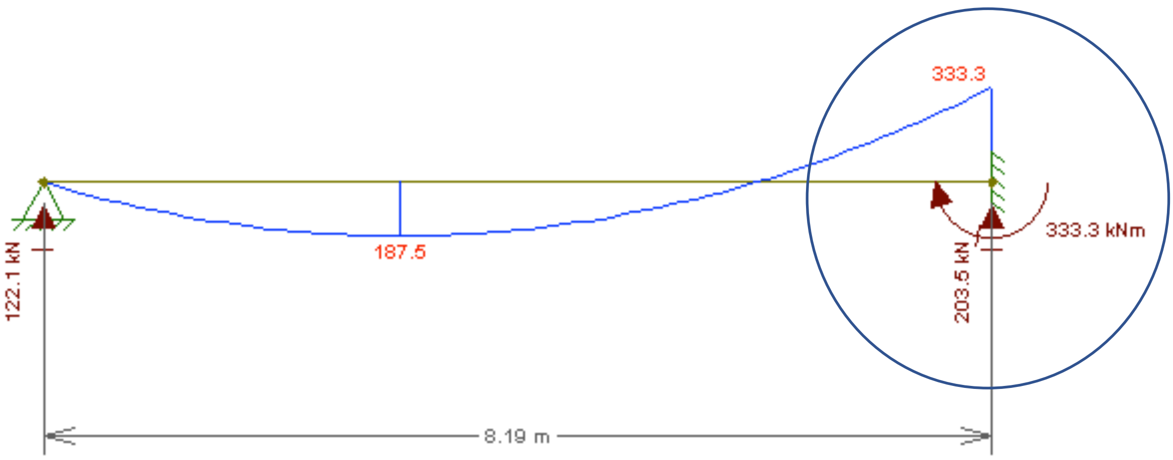
2.2.4.2 Viga 39 (parte a)

$$R_{L44} = \frac{(1,4 * 9 * (6,0044 * 9 - 2 * 9,013205)/2)}{9} = 25,21 \frac{kN}{m}$$

$$R_{L46} = 1,4 * 8 * 0,85 = 9,52 \frac{kN}{m}$$

$$R_{L47} = 5,02 \frac{kN}{m}\ (V27/2)$$

$$q_{V25} = 25,21 + 9,52 + 5,02 = 39,75 \frac{kN}{m}$$



$N = 203,5\ kN$ (retirado da imagem)

$$r_{vig} = \frac{I_{viga}}{l_{viga}} = \frac{3658666667}{8190} = 446723{,}65\ mm^3$$

$$M_{eng} = 333{,}3\ kNm$$

$$M_{viga} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}}$$

$$M_{sup} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{sup}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}} = 113{,}13\ kNm$$

$$M_{inf} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{inf}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{inf} + 3 \times r_{sup}} = 146{,}41\ kNm$$

Andar superior:

$$r_{sup} = 1283333\ mm^3$$

$$r_{inf} = 913043\ mm^3$$

$$M_{inf i+1} = 333{,}3 \times \frac{3 \times 913043}{4 \times 446723{,}65 + 3 \times 913043 + 3 \times 1283333} = 109\ kNm$$

Andar inferior:

$$r_{sup} = 1181585\ mm^3$$

$$r_{inf} = 1750000\ mm^3$$

$$M_{sup} = 333{,}3 \times \frac{3 \times 1181585}{4 \times 446723{,}65 + 3 \times 1750000 + 3 \times 1181585} = 111{,}65\ kNm$$

Considerando os efeitos dos outros andares, temos:

$$M_{d,topo} \cong 113{,}13 + 0{,}5 * 109 = 169{,}70\ kNm$$

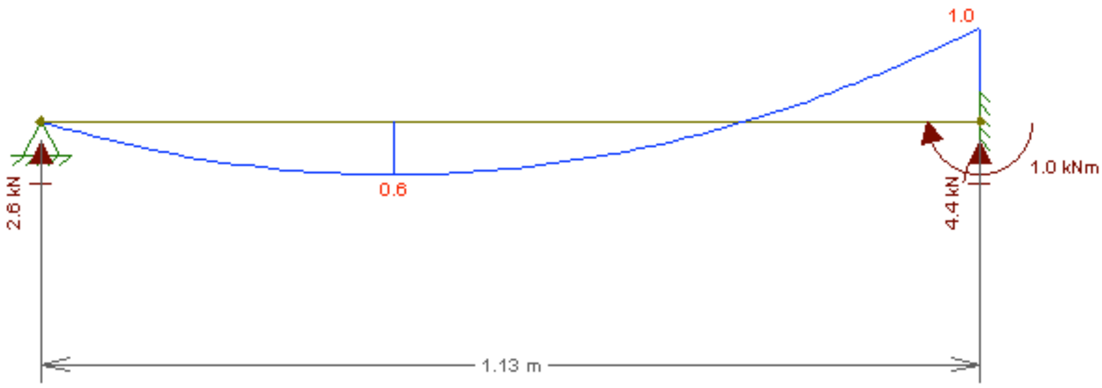
$$M_{d,base} \cong 146{,}41 + 0{,}5 * 111{,}65 = 219{,}62\ kNm$$

2.2.4.3 Viga 45

$$R_{L47} = (1,4 * 0,925 * 1,525 * 8 - 5,02)/2 \ = \ 5,39 \frac{kN}{m}$$

$$R_{L46} = 1,4 * 8 * 0,15/2 = 0,84 \frac{kN}{m}$$

$$q_{V45} = \ 0,84 + 5,39 = 6,23 \frac{kN}{m}$$



$N = 4,4\ kN$ (retirado da imagem)

Como o momento aqui é muito menor que os encontrados anteriormente no pilar, não fazemos a ponderação de rigidez e usaremos apenas:

$$M = 1\ kNm$$

2.2.5 Excentricidade de Primeira Ordem

2.2.5.1 Excentricidade Inicial

2.2.5.1.1 Carga normal no pilar

$$N_{andar} = \sum N_{vigas}$$

$$N_{andar} = 147,7 + 203,5 + 4,4 = 355,6\ kN$$

$$N_{19_{andares}} = 19 * 355,6 = 6756,4\ kN$$

$$H = 450 + 14 * 304 + 361 + 304 + 265 + 275 = 5911\ cm = 59,11\ m$$

$$Peso\ próprio = b * h * H * \gamma$$

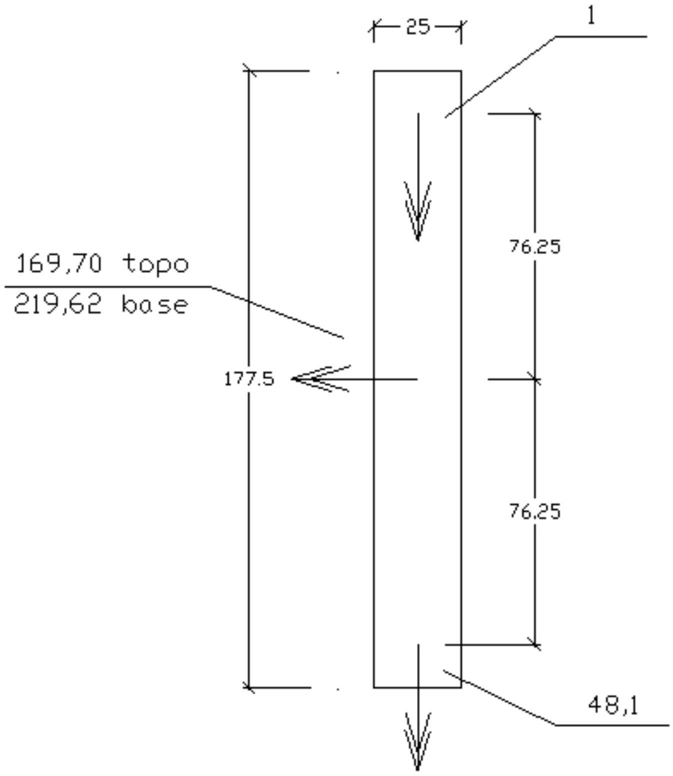
$$Peso\ próprio = (1,85 * 0,30 * 59,11) * 25 = 820,15\ kN$$

$$N = Peso\ próprio + N_{19_{andares}}$$

$$N = 820{,}15 + 6756{,}4 = 7576{,}55\ kN$$

2.2.5.1.2 Momento no pilar

Momentos de engastamento calculados no pilar (em kNm):



Consideraremos o eixo x paralelo à menor largura e y à maior largura.

$$Mx = 48{,}1 + 1 = 49{,}10\ kNm$$

$$e_x = \frac{4910}{7576{,}55} = 0{,}65\ cm$$

Duas, das três, vigas chegam com excentricidade, então temos a pior caso de momento na base:

$$My = 219{,}62 + 0{,}7625 * 1 - 0{,}7625 * 145{,}7 = 109{,}29\ kNm$$

$$e_y = \frac{10929}{7576{,}55} = 1{,}44\ cm$$

2.2.6 Excentricidade Acidental

2.2.6.1 Imperfeições Globais

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \times \sqrt{l}}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \times \sqrt{59.11}} = 0{,}00013$$

$$\theta_a = \theta_1 \times \sqrt{\frac{1 + {}^{1}/_{n}}{2}}$$

$$\theta_a = 0{,}0011$$

2.2.6.2 Imperfeições Locais

$$e_a = \theta_1 \times \frac{l}{2}$$

$$e_a = 0{,}0011 \times \frac{5060}{2} = 0{,}28\ cm$$

2.2.7 Momento Mínimo

$$M_{1d,minx} = N_d \times (0.015 + 0.03 \times h_x)$$

$$M_{1d,minx} = 7576{,}55 \times (0{,}015 + 0{,}03 \times 0{,}25) = 170{,}47\ kNm$$

$$e_{i_{minx}} = (0.015 + 0.03 \times 0{,}25) = 2{,}25cm$$

$$M_{1d,miny} = N_d \times \left(0.015 + 0.03 \times h_y\right)$$

$$M_{1d,miny} = 7576{,}55 \times (0{,}015 + 0{,}03 \times 1{,}775) = 517{,}10\ kNm$$

$$e_{i_{miny}} = (0.015 + 0.03 \times 1{,}775) = 6{,}83\ cm$$

$$e_{i_x} = 2{,}25\ cm\ (mínimo)$$

$$e_{i_y} = 6{,}83\ cm\ (mínimo)$$

Pode ser dimensionado como pilar centrado.

2.2.8 Excentricidade Suplementar

Não precisará ser considerado porque $\lambda's < 90$

2.2.9 Esbeltes Limite

$$\alpha_b = 1\ (temos\ momentos\ mínimos)$$

$$\lambda_1 = \frac{25 + 12.5 \times {}^{e_1}/_{h}}{\alpha_b}$$

$$\lambda_{1_x} = \frac{25 + 12,5 \times \frac{0,65}{25}}{1} = 25,33 => 35$$

$$\lambda_{1_y} = \frac{25 + 12,5 \times {}^{1,44}/_{177,5}}{1} = 25,10 => 35$$

$$\lambda_x = 70,11\ (esbelto)$$

$$\lambda_y = 9,87\ (curto)$$

2.2.10 Método de Curvatura Aproximada

Em x:

$$v = \frac{N_d}{A_c * f_{cd}}$$

$$v = \frac{7576,55}{4437,50 * 21,42} = 0,079710$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h \times (v + 0.5)} \leq \frac{0.005}{h}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{25 \times (0,079710 + 0,5)} \leq \frac{0.005}{25}$$

$$\frac{1}{r} = 0,000345 \leq 0,0002$$

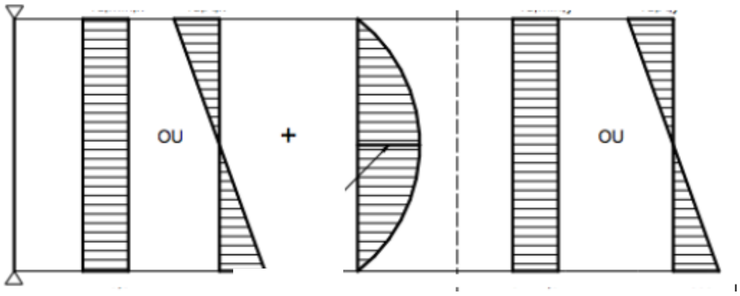
$$\frac{1}{r} = 0,0002\ cm^{-1}$$

$$e_2 = \frac{l_e^2}{10 \times r}$$

$$e_{2x} = \frac{506^2}{10} * 0{,}0002 = 5{,}12\ cm$$

2.2.11 Excentricidade Total

x à esquerda e y à direita:



Pior situação de cálculo:

$$e_x = 2{,}25 + 5{,}12 + 0{,}28 = 7{,}65\ cm$$

$$e_y = 6{,}83 + 0 + 0 = 6{,}83\ cm$$

2.2.12 Armadura Longitudinal

$$v = \frac{N_d}{A_c * f_{cd}}$$

$$v = \frac{7576{,}55}{4437{,}50 * 21{,}42} = 0{,}079710$$

$$\mu_x = \frac{\nu * e_x}{h_x}$$

$$\mu_x = \frac{0{,}079710 * 7{,}65}{25} = 0{,}024$$

$$\mu_y = \frac{\nu * e_y}{h_y}$$

$$\mu_y = \frac{0{,}079710 * 6{,}83}{177{,}5} = 0{,}0031 => praticamente\ não\ influencia$$

$$\frac{d_x'}{h_x} = \frac{2{,}5}{25} = 0{,}10$$

$$\frac{d_y'}{h_y} = \frac{2,5}{177,5} = 0,014$$

Consultando os ábacos 38A de flexão oblíqua:

$$\omega \cong 0,04$$

$$A_s = \omega \frac{A_c * f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$A_s = 0,04 * \frac{4437,50 * 21,42}{\frac{50}{1,15}} = 87,45\ cm^2$$

Áreas mínimas e máximas:

$$A_{s_{min}} = 0,15 * \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 * A_c$$

$$A_{s_{min}} = 0,15 * \frac{7576,55}{\frac{50}{1,15}} \geq 0,004 * 4437,50$$

$$A_{s_{min}} = 26,14\ cm^2 \geq 17,75 cm^2$$

$$A_{s_{max}} = 0,08 * 4437,50 = 355\ cm^2$$

Logo, temos:

$$A_s = 87,45\ cm^2$$

O ábaco pode para usarmos 10 barras, mas isso só seria possível com 10 barras de 40mm (125cm²) que é relativamente mais do que precisamos. Vamos, então, considerar 18 barras de 25mm (90 cm²).

2.2.13 Estribos

Os cálculos seguirão exatamente como o pilar anterior:

2.2.13.1 Diâmetro

$$\phi = 8\ mm$$

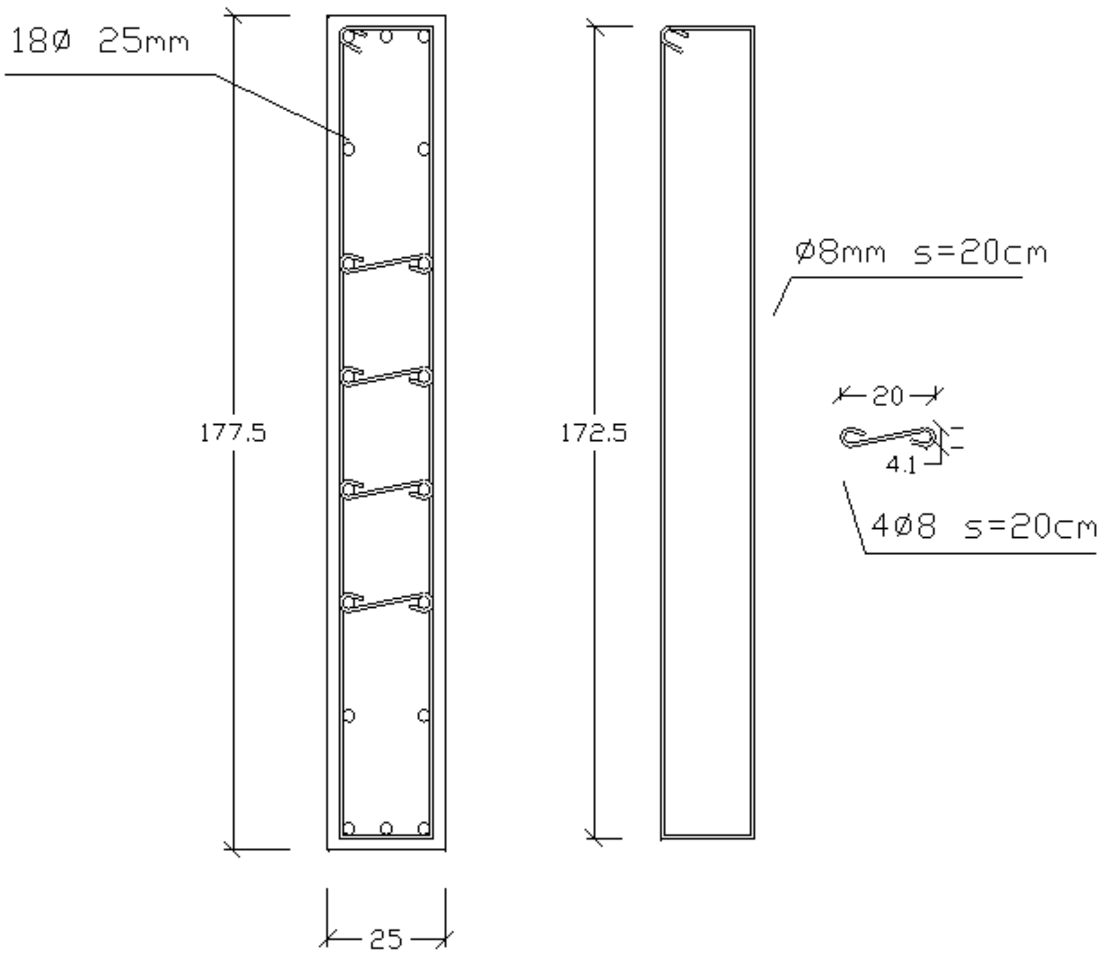
2.2.13.2 Espaçamento

$$s_{máx} = 20\ cm$$

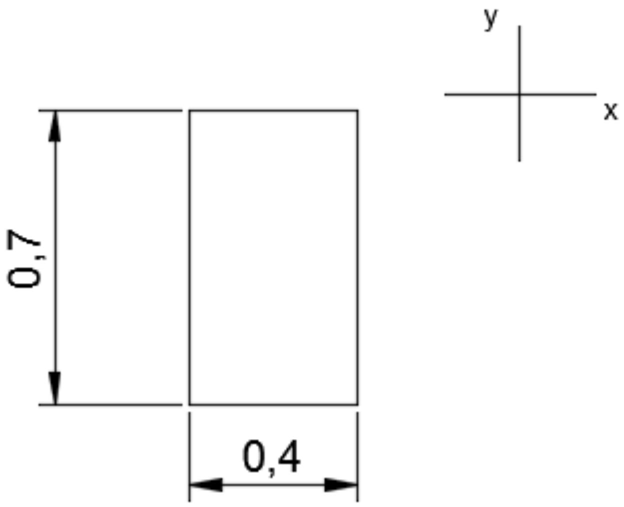
2.2.13.3 Proteção contra flambagem

$$l_{prot} = 20 * 0{,}8 = 16\ cm$$

2.2.13.4 Detalhe



2.3 Pilar 2 – Viga 1



2.3.1 Comprimento Equivalente

$$l_{ex} = l_0 + h_x = 450 + 40 = 490\ cm$$

$$l_{ex} = l = 450 + 96 = 546\ cm$$

$$l_{ey} = l_0 + h_x = 450 + 70 = 520\ cm$$

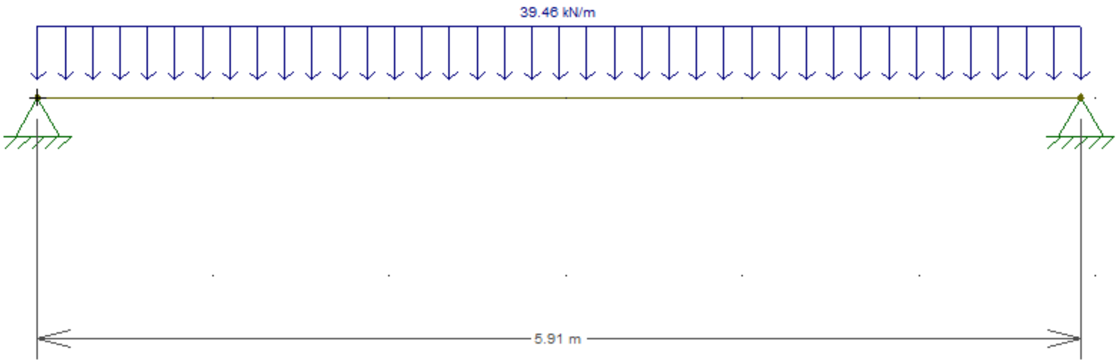
$$l_{ey} = \mathrm{l} = 450 + 96 = 546\ cm$$

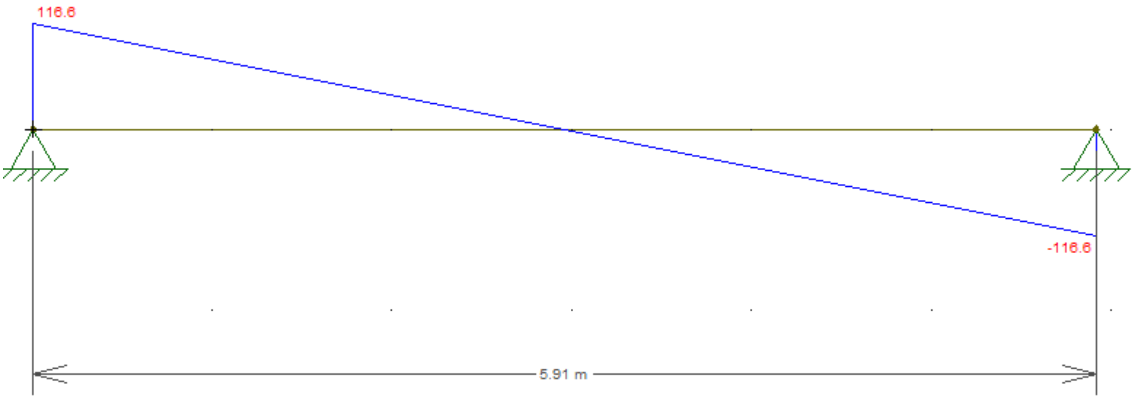
Logo,

$$l_{ex} = l_{ey} = 546\ cm$$

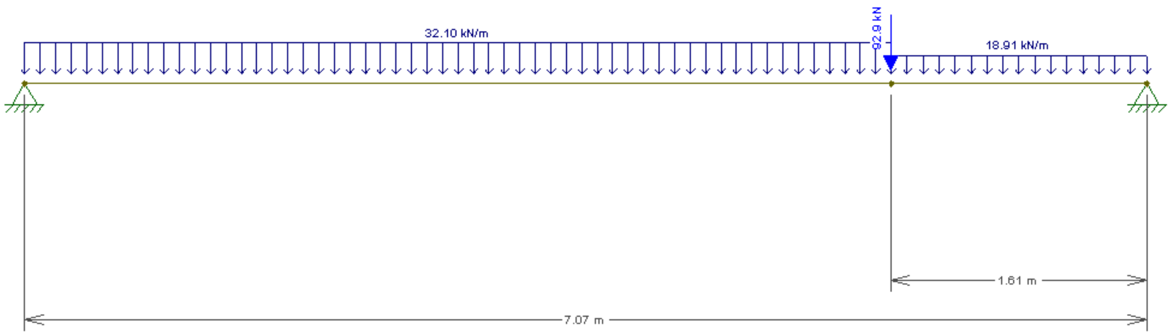
2.3.2 Esforço Normal

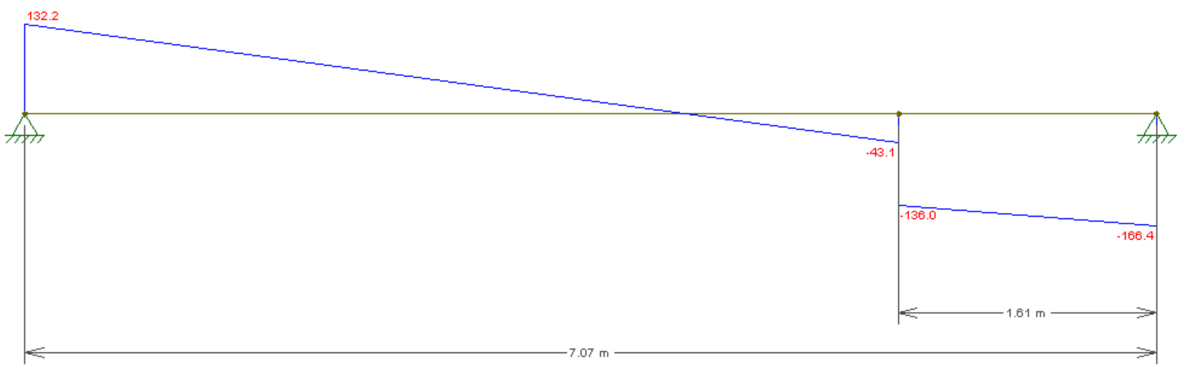
Cortante da V1:





Cortante da V53:





$$N_d = R_{V53} \times n + R_{V1} \times n + \gamma_{concreto} \times V_{pilar}$$

$$N_d = 166.40 \times 19 + 116.60 \times 19 + 1,4 \times 25 \times 59,11 \times 0,7 \times 0,4$$

$$N_d = 5956.28\ kN$$

2.3.4 Raio de Giração

$$A = B \times H = 70 \times 40 = 2800\ cm^2$$

Para o eixo x:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{70 \times 40^3 / 12}{2800}} = 11.55\ cm$$

$$\lambda_x = \frac{l_e}{i_x} = \frac{546}{11.55} = 47.27$$

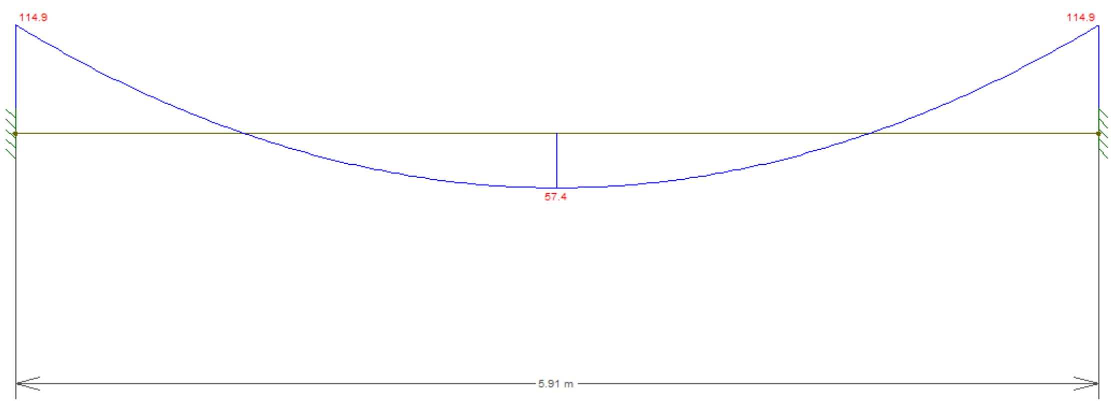
Para o eixo y:

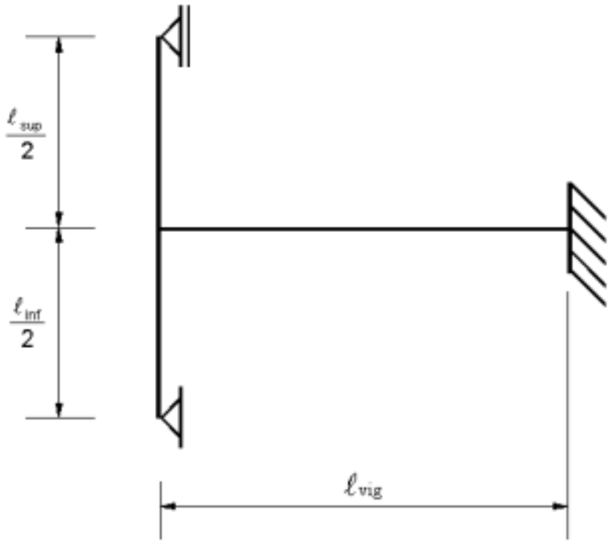
$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{40 \times 70^3 / 12}{2800}} = 20.21\ cm$$

$$\lambda_y = \frac{l_e}{i_y} = \frac{546}{20.21} = 27.02$$

2.3.5 Excentricidade de Primeira Ordem

2.3.5.1 Pórtico Viga 1





2.3.5.1.1 Rigidez Viga 1

$$r_{viga} = \frac{I_{viga}}{l_{viga}} = \frac{1474560}{591} = 2495.02\ cm^3$$

$$r_{supx,i} = \frac{I_{supx}}{l_{supx}/2} = \frac{373333.33}{546/2} = 1367.52\ cm^3$$

$$r_{supx,i+1} = \frac{I_{supx,i+1}}{l_{supx,i+1}/2} = \frac{373333.33}{400/2} = 1866.67\ cm^3$$

$$r_{supy,i} = \frac{I_{supy,i}}{l_{supy,i}/2} = \frac{1143333.33}{546/2} = 4188.03\ cm^3$$

$$r_{supy,i+1} = \frac{I_{supy,i+1}}{l_{supy,i+1}/2} = \frac{1143333.33}{400/2} = 5716.67\ cm^3$$

$$r_{infx,i} = \frac{I_{infx,i}}{l_{infx,i}/2} = \frac{373333.33}{431/2} = 1732.40\ cm^3$$

$$r_{infx,i+1} = \frac{I_{infx,i+1}}{l_{infx,i+1}/2} = \frac{373333.33}{546/2} = 1367.52\ cm^3$$

$$r_{infy,i} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/2} = \frac{1143333.33}{431/2} = 5305.49\ cm^3$$

$$r_{infy,i+1} = \frac{I_{infy,i+1}}{l_{inf,i+1}/2} = \frac{1143333.33}{546/2} = 4188.03\ cm^3$$

2.3.5.1.2 Momentos da Viga 1

$$M_{eng} = 114.90\ kN\ m = 11490\ kN\ cm$$

$$M_{supx,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supx,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i} + 3 \times r_{supx,i}}$$

$$M_{supx,i} = 11490 \times \frac{3 \times 1367.52}{4 \times 2495.02 + 3 \times 1367.52 + 3 \times 1732.40} = 2444.96\ kN\ cm$$

$$M_{supy,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supy,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i} + 3 \times r_{supy,i}}$$

$$M_{supy,i} = 11490 \times \frac{3 \times 4188.03}{4 \times 2495.02 + 3 \times 4188.03 + 3 \times 5305.49} = 3753.48\ kN\ cm$$

$$M_{infx,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infx,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i+1} + 3 \times r_{supx,i+1}}$$

$$M_{infx,i+1} = 11490 \times \frac{3 \times 1367.52}{4 \times 2495.02 + 3 \times 1367.52 + 3 \times 1866.67} = 2394.92\ kN\ cm$$

$$M_{infy,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infy,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i+1} + 3 \times r_{supy,i+1}}$$

$$M_{infy,i+1} = 11490 \times \frac{3 \times 4188.03}{4 \times 2495.02 + 3 \times 4188.03 + 3 \times 5716.67} = 3636.84\ kN\ cm$$

$$M_{Bx} = M_{supx,i} + 0.5 \times M_{infx,i+1}$$

$$M_{Bx} = 2444.96 + 0.5 \times 2394.92 = 3642.42\ kN\ cm$$

$$M_{By} = M_{supy,i} + 0.5 \times M_{infy,i+1}$$

$$M_{By} = 3753.48 + 0.5 \times 3636.84 = 5571.90\ kN\ cm$$

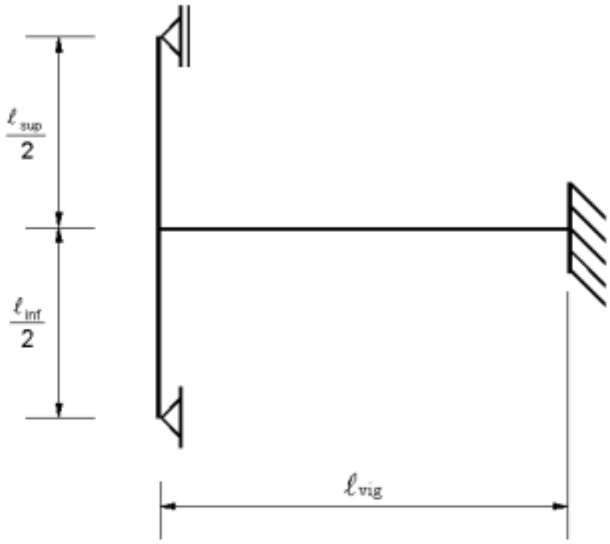
$$M_{Ax} = M_{infx,i+1} + 0.5 \times M_{supx,i}$$

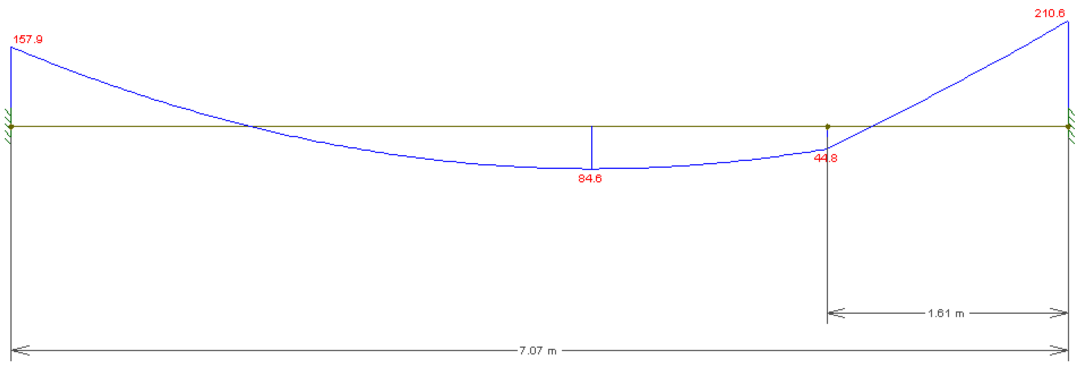
$$M_{Ax} = 2394.92 + 0.5 \times 2444.96 = 3617.40\ kN\ cm$$

$$M_{Ay} = M_{infy,i+1} + 0.5 \times M_{supy,i}$$

$$M_{Ay} = 3636.84 + 0.5 \times 3753.48 = 5513.58\ kN\ cm$$

2.3.5.2 Pórtico Viga 53





2.3.5.2.1 Rigidez Viga 53

$$r_{viga} = \frac{I_{viga}}{l_{viga}} = \frac{1474560}{707} = 2085.66\ cm^3$$

$$r_{supx,i} = \frac{I_{supx}}{l_{supx}/2} = \frac{373333.33}{546/2} = 1367.52\ cm^3$$

$$r_{supx,i+1} = \frac{I_{supx,i+1}}{l_{supx,i+1}/2} = \frac{373333.33}{400/2} = 1866.67\ cm^3$$

$$r_{supy,i} = \frac{I_{supy,i}}{l_{supy,i}/2} = \frac{1143333.33}{546/2} = 4188.03\ cm^3$$

$$r_{supy,i+1} = \frac{I_{supy,i+1}}{l_{supy,i+1}/2} = \frac{1143333.33}{400/2} = 5716.67\ cm^3$$

$$r_{infx,i} = \frac{I_{infx,i}}{l_{infx,i}/2} = \frac{373333.33}{431/2} = 1732.40\ cm^3$$

$$r_{infx,i+1} = \frac{I_{infx,i+1}}{l_{infx,i+1}/2} = \frac{373333.33}{546/2} = 1367.52\ cm^3$$

$$r_{infy,i} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/2} = \frac{1143333.33}{431/2} = 5305.49\ cm^3$$

$$r_{infy,i+1} = \frac{I_{infy,i+1}}{l_{inf,i+1}/2} = \frac{1143333.33}{546/2} = 4188.03\ cm^3$$

2.3.5.2.2 Momentos da Viga 53

$$M_{eng} = 210.60\ kN\ m = 21060\ kN\ cm$$

$$M_{supx,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supx,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i} + 3 \times r_{supx,i}}$$

$$M_{supx,i} = 21060 \times \frac{3 \times 1367.52}{4 \times 2085.66 + 3 \times 1367.52 + 3 \times 1732.40} = 4897.28\ kN\ cm$$

$$M_{supy,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supy,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i} + 3 \times r_{supy,i}}$$

$$M_{supy,i} = 21060 \times \frac{3 \times 4188.03}{4 \times 2085.66 + 3 \times 4188.03\ + 3 \times 5305.49} = 7185.68\ kN\ cm$$

$$M_{infx,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infx,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i+1} + 3 \times r_{supx,i+1}}$$

$$M_{infx,i+1} = 21060 \times \frac{3 \times 1367.52}{4 \times 2085.66 + 3 \times 1367.52 + 3 \times 1866.67} = 4787.97\ kN\ cm$$

$$M_{infy,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infy,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i+1} + 3 \times r_{supy,i+1}}$$

$$M_{infy,i+1} = 21060 \times \frac{3 \times 4188.03}{4 \times 2085.66 + 3 \times 4188.03 + 3 \times 5716.67} = 6952.77\ kN\ cm$$

$$M_{Bx} = M_{supx,i} + 0.5 \times M_{infx,i+1}$$

$$M_{Bx} = 4897.28\ + 0.5 \times 4787.97 = 7291.26\ kN\ cm$$

$$M_{By} = M_{supy,i} + 0.5 \times M_{infy,i+1}$$

$$M_{By} = 7185.68\ \ + 0.5 \times 6952.77 = 10662.06\ kN\ cm$$

$$M_{Ax} = M_{infx,i+1} + 0.5 \times M_{supx,i}$$

$$M_{Ax} = 4787.97\ \ + 0.5 \times 4897.28 = 7236.61\ kN\ cm$$

$$M_{Ay} = M_{infy,i+1} + 0.5 \times M_{supy,i}$$

$$M_{Ay} = 6952.77 + 0.5 \times 7185.68 = 10545.61\ kN\ cm$$

2.3.5.2.3 Momentos Mínimos de Primeira Ordem

$$M_{1dx,min} = N_d \times (0.015 + 0.03 \times h_x)$$

$$M_{1dx,min} = 5956.28 \times (1.5 + 0.03 \times 40) = 16081.96\ kN\ cm\ (governa!)$$

$$M_{1dy,min} = N_d \times \left(0.015 + 0.03 \times h_y\right)$$

$$M_{1dy,min} = 5956.28 \times (1.5 + 0.03 \times 70) = 21442.61\ kN\ cm\ (governa!)$$

2.3.5.2.4 Excentricidades de Primeira Ordem

$$e_{1d,x} = \frac{16081.96}{5956.28} = 2.70\ cm$$

$$e_{1d,y} = \frac{21442.61}{5956.28} = 3.60\ cm$$

2.3.6 Esbeltes Limite

$$\alpha_b = 1.0$$

$$\lambda_{1x} = \frac{25 + 12.5 \times {e_1}/{h}}{\alpha_b} = \frac{25 + 12.5 \times {2.70}/{40}}{1.00} = 25.84$$

$$\lambda_{1y} = \frac{25 + 12.5 \times {e_1}/{h}}{\alpha_b} = \frac{25 + 12.5 \times {3.60}/{40}}{1.00} = 26.12$$

$$\lambda_{1y} = \lambda_{1x} = 35$$

Para o eixo y não é necessário excentricidade de segunda ordem, porém para o x sim.

2.3.7 Imperfeições Locais

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \times \sqrt{l}}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \times \sqrt{59.11}} = 1.30 \times 10^{-3}$$

$$\theta_a = \theta_1 \times \sqrt{\frac{1 + {}^1/_n}{2}}$$

$$\theta_a = 1.30 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{1 + {}^1/_2}{2}} = 0.001126$$

$$e_a = \theta_1 \times \frac{l}{2}$$

$$e_a = 1.30 \times 10^{-3} \times \frac{59.11}{2} = 3.84\ cm$$

2.3.8 Método de Curvatura Aproximada

$$v = \frac{N_d}{A_c \times f_{cd}}$$

$$v = \frac{5956.28}{40 \times 70 \times {}^3/_{1.4}} = 0.99$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0{,}005}{h \times (v + 0.5)} \leq \frac{0.005}{h}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0{,}005}{40 \times (0.99 + 0.5)} \leq \frac{0.005}{40}$$

$$\frac{1}{r} = 8.39 \times 10^{-5} \leq 1.25 \times 10^{-4}$$

$$e_{2x} = \frac{l_e^2}{10 \times r} = \frac{546^2 \times 8.39 \times 10^{-5}}{10} = 2.50\ cm$$

$$M_{2dx} = e_{2x} \times N_d = 2.50 \times 5956.28 = 14890.70\ kN\ cm$$

2.3.9 Momentos e Excentricidades Totais

$$M_{dx,tot} = M_{1dx,min} + M_{2dx} = 16081.96 + 14890.70 = 30972.66\ kN\ cm$$

$$e_{x,tot} = \frac{30972.66}{5956.28} = 5.20\ cm$$

$$M_{dy,tot} = M_{1dy,min} = 21442.61\ kN\ cm$$

$$e_{y,tot} = \frac{21442.61}{5956.28} = 3.60\ cm$$

2.3.10 Cálculo de Armadura

$$u = \frac{M_d}{A_c \times h \times f_{cd}} = \frac{30972.66}{40 \times 70 \times 40 \times {}^{3}/_{1.4}} = 0.13$$

$$v = 0.99$$

Utilizando o ábaco A-48 de Venturini:

$$\omega = 0.50$$

$$A_s = \frac{\omega \times A_c \times f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0.50 \times 40 \times 70 \times {}^{3}/_{1.4}}{{}^{50}/_{1.15}} = 69\ cm^2$$

Logo, serão utilizadas 12 armaduras de diâmetro de 32 mm cada.

2.3.11 Cálculo de Estribo

$$\phi \geq \begin{cases} 5\ mm \\ \dfrac{\phi_l}{4} \end{cases}$$

$$\phi \geq \begin{cases} 5\ mm \\ \dfrac{32\ mm}{4} \end{cases}$$

$$\phi \geq 8\ mm$$

Usaremos 8mm

$$s_{máx} \leq \begin{cases} 20\ cm \\ b \\ 12\phi_l\ (CA50) \end{cases}$$

$$s_{máx} \leq \begin{cases} 20\ cm \\ 40\ cm \\ 12 * 3{,}2\ (CA50) \end{cases}$$

$$s_{máx} \leq 20\ cm$$

$$s_{máx} \leq 90000 \frac{\phi_t^2}{\phi_l} * \frac{1}{f_{yk}}$$

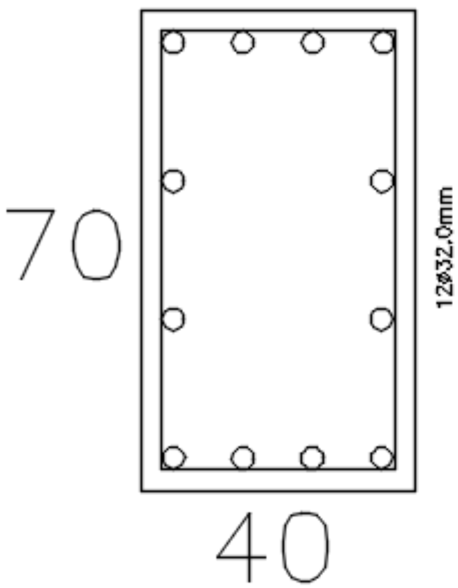
$$s_{máx} \leq 90000 \frac{8^2}{32} * \frac{1}{\frac{500}{1,15}} = 414\ mm = 41,4\ cm$$

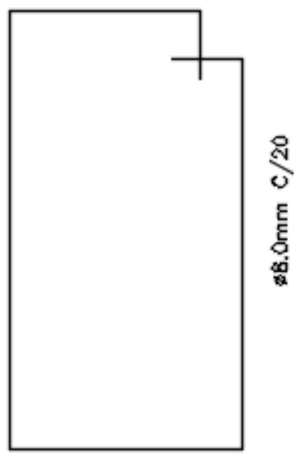
$$s_{máx} = 20\ cm$$

2.3.11.1 Proteção Contra Flambagem

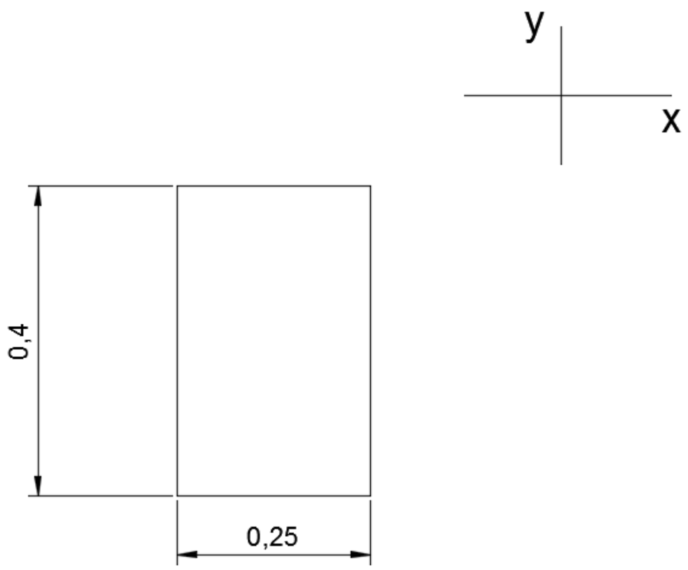
$$l_{prot} = 20 * 0,8 = 16\ cm$$

2.3.11.2 Detalhamento





2.4 Pilar 138



2.4.1 Comprimento Equivalente

$$l_{ex} = l_0 + h_x = 450 + 40 = 490\ cm$$

$$l_{ex} = l = 450 + 65 = 515\ cm$$

$$l_{ey} = l_0 + h_x = 450 + 40 = 490\ cm$$

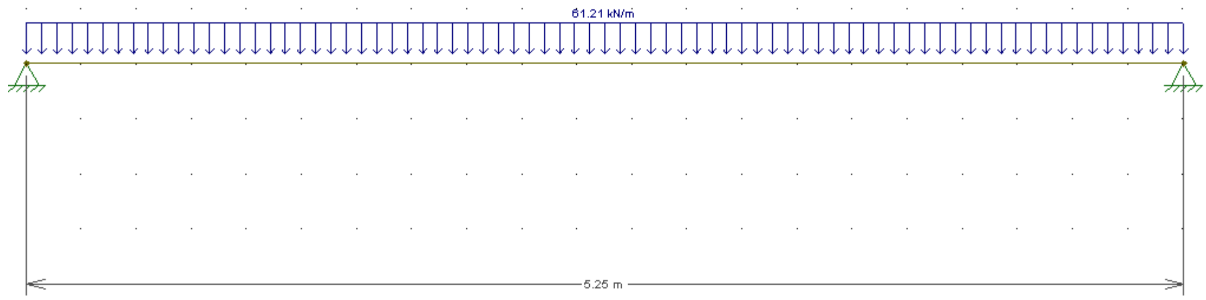
$$l_{ey} = \mathrm{l} = 450 + 65 = 515\ cm$$

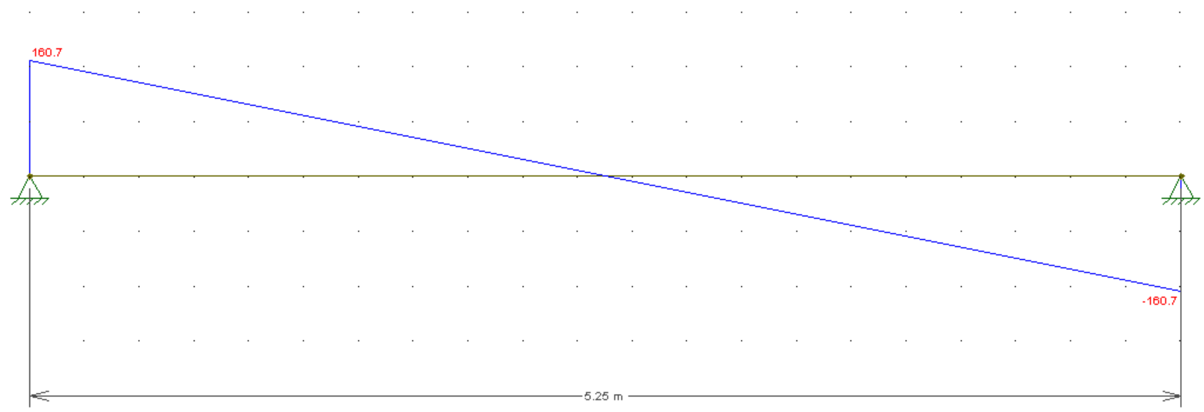
Logo,

$$l_{ex} = l_{ey} = 515\ cm$$

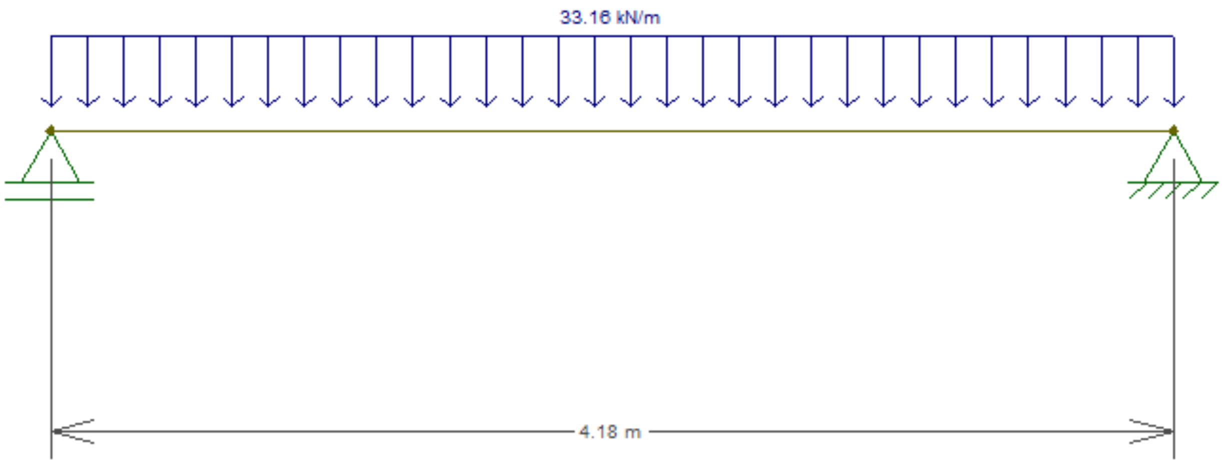
2.4.2 Esforço Normal

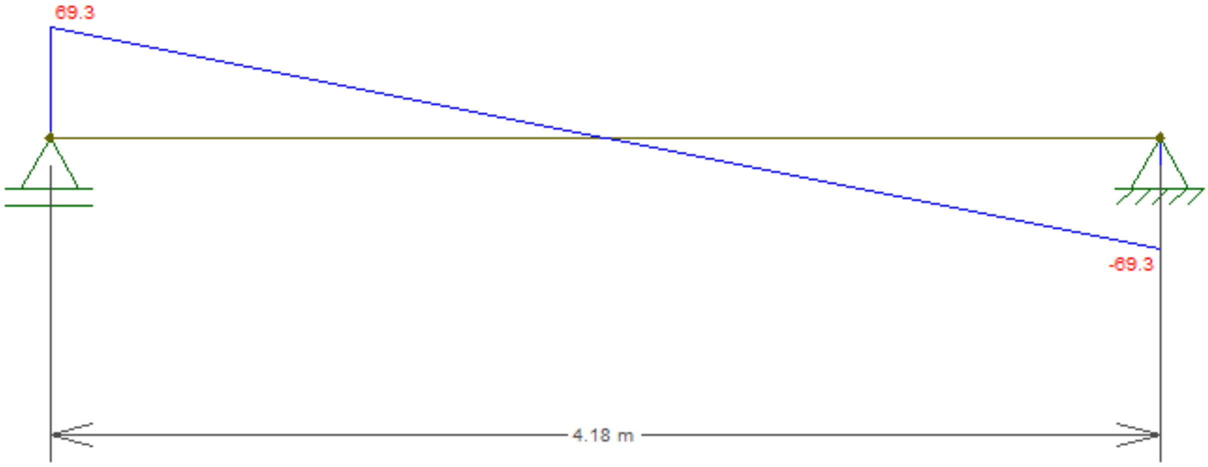
Cortante da V28:



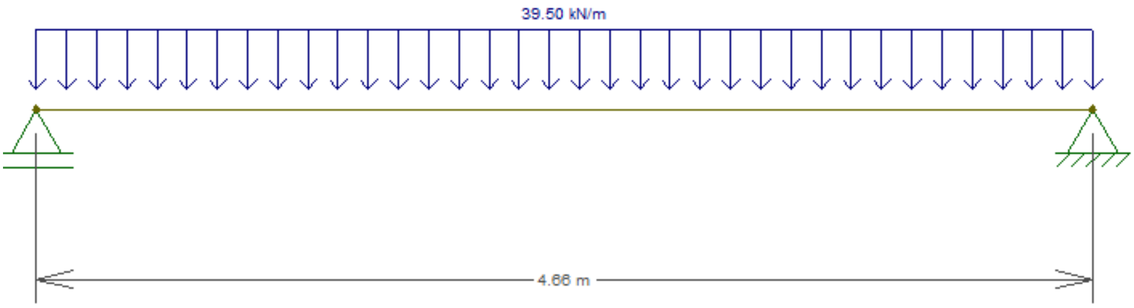


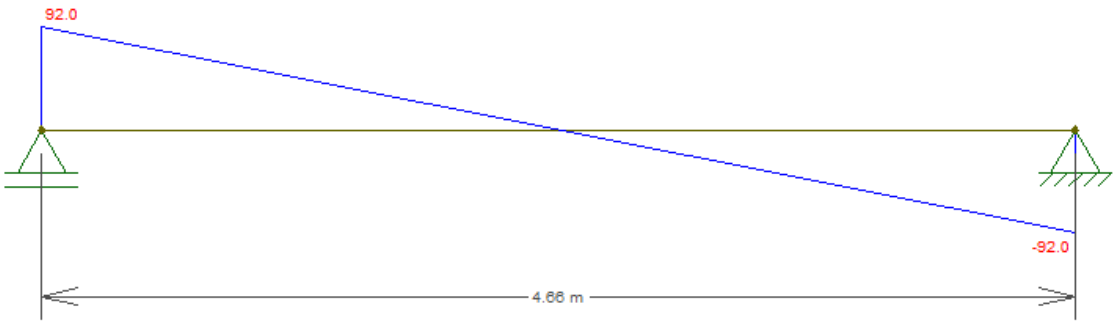
Cortante da V73:





Cortante da V25:





$$N_d = R_{V28} \times n + R_{V73} \times n + R_{V25} \times n + \gamma_{concreto} \times V_{pilar}$$

$$N_d = 160.70 \times 19 + 69.30 \times 19 + 92.00 \times 19 + 1{,}4 \times 25 \times 59{,}11 \times 0{,}4 \times 0{,}25$$

$$N_d = 6324.88\ kN$$

2.4.3 Raio de Giração

$$A = B \times H = 25 \times 40 = 1000\ cm^2$$

Para o eixo x:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{40 \times 25^3/_{12}}{1000}} = 7.22\ cm$$

$$\lambda_x = \frac{l_e}{i_x} = \frac{515}{7.22} = 71.33$$

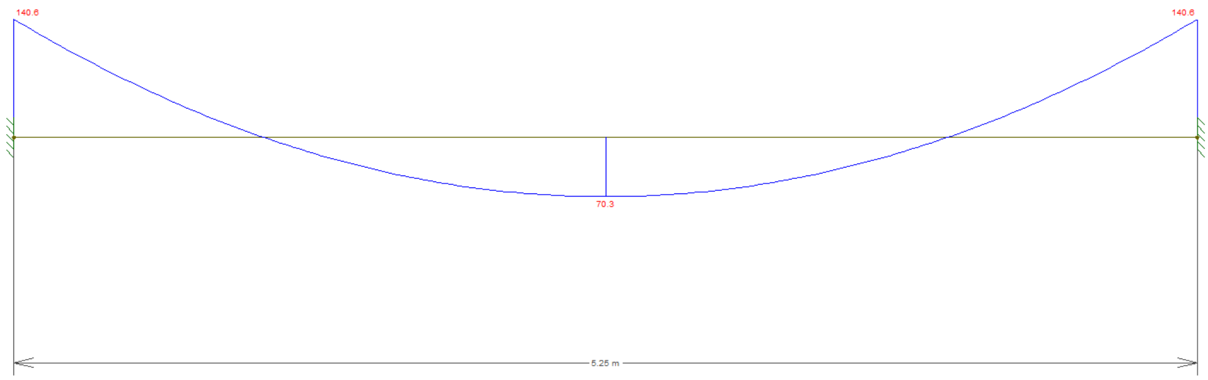
Para o eixo y:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{25 \times 40^3/_{12}}{1000}} = 11.55\ cm$$

$$\lambda_y = \frac{l_e}{i_y} = \frac{515}{11.55} = 44.59$$

2.4.4 Excentricidade de Primeira Ordem

2.4.4.1 Pórtico Viga 28



2.4.4.1.1 Rigidez Viga 28

$$r_{viga} = \frac{I_{viga}}{l_{viga}} = \frac{133333.33}{525} = 253.97\ cm^3$$

$$r_{supx,i} = \frac{I_{supx}}{l_{supx}/_2} = \frac{52083.33}{525/_2} = 198.41\ cm^3$$

$$r_{supx,i+1} = \frac{I_{supx,i+1}}{l_{supx,i+1}/_2} = \frac{52083.33}{369/_2} = 282.29\ cm^3$$

$$r_{supy,i} = \frac{I_{supy,i}}{l_{supy,i}/_2} = \frac{133333.33}{525/_2} = 507.94\ cm^3$$

$$r_{supy,i+1} = \frac{I_{supy,i+1}}{l_{supy,i+1}/_2} = \frac{133333.33}{369/_2} = 722.67\ cm^3$$

$$r_{infx,i} = \frac{I_{infx,i}}{l_{infx,i}/_2} = \frac{52083.33}{525/_2} = 198.41\ cm^3$$

$$r_{infx,i+1} = \frac{I_{infx,i+1}}{l_{infx,i+1}/_2} = \frac{52083.33}{369/_2} = 282.29\ cm^3$$

$$r_{infy,i} = \frac{I_{infy,i}}{l_{infy,i}/_2} = \frac{133333.33}{525/_2} = 507.94\ cm^3$$

$$r_{infy,i+1} = \frac{I_{infy,i+1}}{l_{inf,i+1}/_2} = \frac{133333.33}{369/_2} = 722.67\ cm^3$$

2.4.4.1.2 Momentos da Viga 28

$$M_{eng} = 140.60\ kN\ m = 14060\ kN\ cm$$

$$M_{supx,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supx,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i} + 3 \times r_{supx,i}}$$

$$M_{supx,i} = 14060 \times \frac{3 \times 198.41}{4 \times 253.97 + 3 \times 198.41 + 3 \times 198.41} = 3793.13\ kN\ cm$$

$$M_{supy,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supy,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i} + 3 \times r_{supy,i}}$$

$$M_{supy,i} = 14060 \times \frac{3 \times 507.94}{4 \times 253.97 + 3 \times 507.94 + 3 \times 507.94} = 5272.50\ kN\ cm$$

$$M_{infx,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infx,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i+1} + 3 \times r_{supx,i+1}}$$

$$M_{infx,i+1} = 14060 \times \frac{3 \times 282.29}{4 \times 253.97 + 3 \times 282.29 + 3 \times 282.29} = 4394.34\ kN\ cm$$

$$M_{infy,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infy,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i+1} + 3 \times r_{supy,i+1}}$$

$$M_{infy,i+1} = 14060 \times \frac{3 \times 722.67}{4 \times 253.97 + 3 \times 722.67 + 3 \times 722.67} = 5695.59\ kN\ cm$$

$$M_{Bx} = M_{supx,i} + 0.5 \times M_{infx,i+1}$$

$$M_{Bx} = 3793.13 + 0.5 \times 4394.34 = 5990.30\ kN\ cm$$

$$M_{By} = M_{supy,i} + 0.5 \times M_{infy,i+1}$$

$$M_{By} = 5272.50 + 0.5 \times 5695.59 = 8120.29\ kN\ cm$$

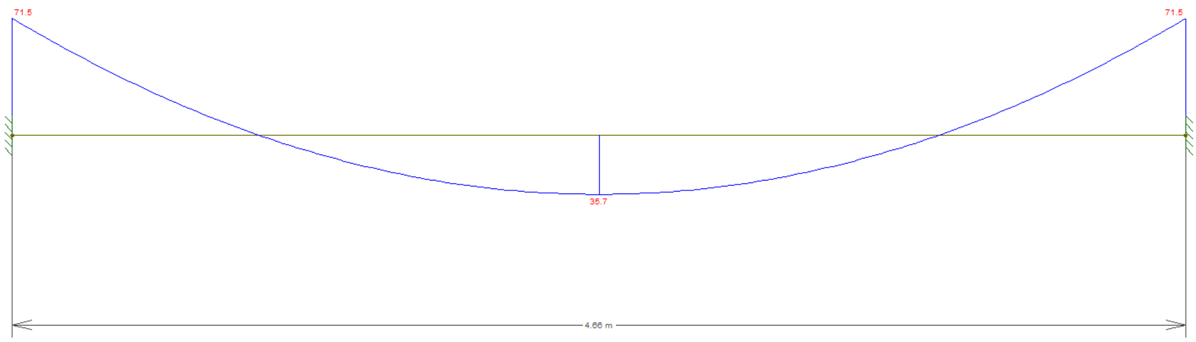
$$M_{Ax} = M_{infx,i+1} + 0.5 \times M_{supx,i}$$

$$M_{Ax} = 4394.34 + 0.5 \times 3793.13 = 6290.90\ kN\ cm$$

$$M_{Ay} = M_{infy,i+1} + 0.5 \times M_{supy,i}$$

$$M_{Ay} = 5695.59 + 0.5 \times 5272.50 = 8331.84\ kN\ cm$$

2.4.4.2 Pórtico Viga 25



2.4.4.2.1 Rigidez Viga 25

$$r_{viga} = \frac{I_{viga}}{l_{viga}} = \frac{243340}{466} = 522.19\ cm^3$$

$$r_{supx,i} = \frac{I_{supx}}{l_{supx}/2} = \frac{52083.33}{525/2} = 198.41\ cm^3$$

$$r_{supx,i+1} = \frac{I_{supx,i+1}}{l_{supx,i+1}/2} = \frac{52083.33}{400/2} = 260.41\ cm^3$$

$$r_{supy,i} = \frac{I_{supy,i}}{l_{supy,i}/2} = \frac{133333.33}{546/2} = 488.40\ cm^3$$

$$r_{supy,i+1} = \frac{I_{supy,i+1}}{l_{supy,i+1}/2} = \frac{133333.33}{400/2} = 666.67\ cm^3$$

$$r_{infx,i} = \frac{I_{infx,i}}{l_{infx,i}/2} = \frac{52083.33}{431/2} = 241.68\ cm^3$$

$$r_{infx,i+1} = \frac{I_{infx,i+1}}{l_{infx,i+1}/_2} = \frac{52083.33}{546/_2} = 190.78\ cm^3$$

$$r_{infy,i} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/_2} = \frac{133333.33}{431/_2} = 618.72\ cm^3$$

$$r_{infy,i+1} = \frac{I_{infy,i+1}}{l_{inf,i+1}/_2} = \frac{133333.33}{546/_2} = 488.40\ cm^3$$

2.4.4.2.2 Momentos da Viga 25

$$M_{eng} = 71.50\ kN\ m = 7150\ kN\ cm$$

$$M_{supx,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supx,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i} + 3 \times r_{supx,i}}$$

$$M_{supx,i} = 7150 \times \frac{3 \times 198.41}{4 \times 522.19 + 3 \times 241.68 + 3 \times 198.41} = 1248.42\ kN\ cm$$

$$M_{supy,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supy,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i} + 3 \times r_{supy,i}}$$

$$M_{supy,i} = 7150 \times \frac{3 \times 488.40}{4 \times 522.19 + 3 \times 618.72 + 3 \times 488.40} = 1936.40\ kN\ cm$$

$$M_{infx,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infx,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i+1} + 3 \times r_{supx,i+1}}$$

$$M_{infx,i+1} = 7150 \times \frac{3 \times 190.78}{4 \times 522.19 + 3 \times 190.78\ + 3 \times 260.41} = 1188.80\ kN\ cm$$

$$M_{infy,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infy,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i+1} + 3 \times r_{supy,i+1}}$$

$$M_{infy,i+1} = 7150 \times \frac{3 \times 488.40}{4 \times 522.19 + 3 \times 488.40 + 3 \times 666.67} = 1886.25\ kN\ cm$$

$$M_{Bx} = M_{supx,i} + 0.5 \times M_{infx,i+1}$$

$$M_{Bx} = 1248.42\ \ + 0.5 \times 1188.80 = 1842.82\ kN\ cm$$

$$M_{By} = M_{supy,i} + 0.5 \times M_{infy,i+1}$$

$$M_{By} = 1936.40 + 0.5 \times 1886.25 = 2879.52\ kN\ cm$$

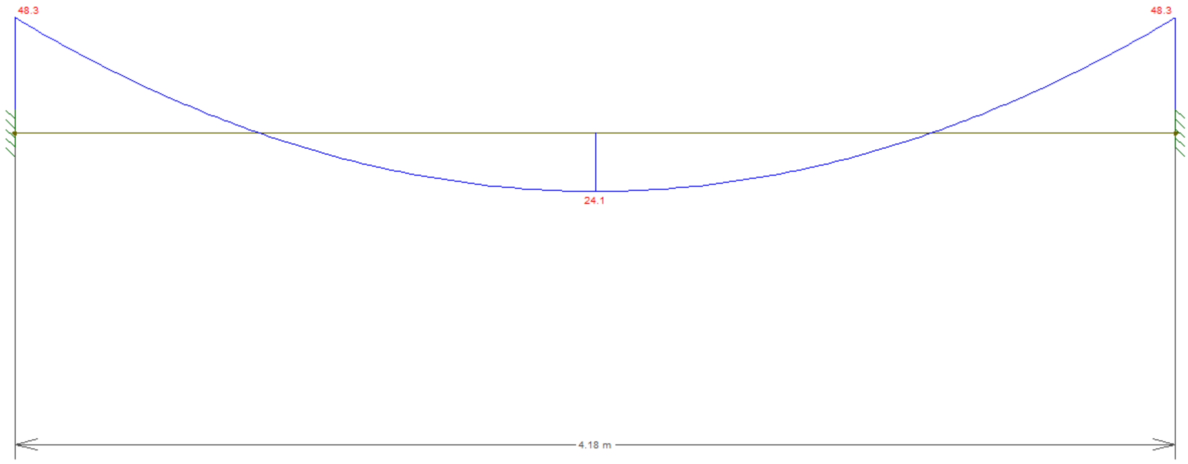
$$M_{Ax} = M_{infx,i+1} + 0.5 \times M_{supx,i}$$

$$M_{Ax} = 1188.80\ \ + 0.5 \times 1248.42\ = 1813.01\ kN\ cm$$

$$M_{Ay} = M_{infy,i+1} + 0.5 \times M_{supy,i}$$

$$M_{Ay} = 1886.25 + 0.5 \times 1936.40 = 2854.45\ kN\ cm$$

2.4.4.3 Pórtico Viga 73



2.4.4.3.1 Rigidez Viga 73

$$r_{viga} = \frac{I_{viga}}{l_{viga}} = \frac{572135.42}{418} = 1368.74\ cm^3$$

$$r_{supx,i} = \frac{I_{supx}}{l_{supx}/2} = \frac{52083.33}{515/2} = 202.26\ cm^3$$

$$r_{supx,i+1} = \frac{I_{supx,i+1}}{l_{supx,i+1}/2} = \frac{52083.33}{371/2} = 280.77\ cm^3$$

$$r_{supy,i} = \frac{I_{supy,i}}{l_{supy,i}/2} = \frac{133333.33}{515/2} = 517.80\ cm^3$$

$$r_{supy,i+1} = \frac{I_{supy,i+1}}{l_{supy,i+1}/2} = \frac{133333.33}{371/2} = 718.78\ cm^3$$

$$r_{infx,i} = \frac{I_{infx,i}}{l_{infx,i}/2} = \frac{52083.33}{515/2} = 202.26\ cm^3$$

$$r_{infx,i+1} = \frac{I_{infx,i+1}}{l_{infx,i+1}/2} = \frac{52083.33}{371/2} = 280.77\ cm^3$$

$$r_{infy,i} = \frac{I_{inf}}{l_{inf}/2} = \frac{133333.33}{515/2} = 517.80\ cm^3$$

$$r_{infy,i+1} = \frac{I_{infy,i+1}}{l_{inf,i+1}/2} = \frac{133333.33}{371/2} = 718.78\ cm^3$$

2.4.4.3.2 Momentos da Viga 73

$$M_{eng} = 48.30\ kN\ m = 4830\ kN\ cm$$

$$M_{supx,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supx,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i} + 3 \times r_{supx,i}}$$

$$M_{supx,i} = 4830 \times \frac{3 \times 202.26}{4 \times 1368.74\ + 3 \times 202.26 + 3 \times 202.26} = 438.17\ kN\ cm$$

$$M_{supy,i} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{supy,i}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i} + 3 \times r_{supy,i}}$$

$$M_{supy,i} = 4830 \times \frac{3 \times 517.80}{4 \times 1368.74\ + 3 \times 517.80 + 3 \times 517.80} = 874.29\ kN\ cm$$

$$M_{infx,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infx,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infx,i+1} + 3 \times r_{supx,i+1}}$$

$$M_{infx,i+1} = 4830 \times \frac{3 \times 280.77}{4 \times 1368.74\ + 3 \times 280.77 + 3 \times 280.77} = 568.24\ kN\ cm$$

$$M_{infy,i+1} = M_{eng} \times \frac{3 \times r_{infy,i+1}}{4 \times r_{vig} + 3 \times r_{infy,i+1} + 3 \times r_{supy,i+1}}$$

$$M_{infy,i+1} = 4830 \times \frac{3 \times 718.78}{4 \times 1368.74\ + 3 \times 718.78 + 3 \times 718.78} = 1064.11\ kN\ cm$$

$$M_{Bx} = M_{supx,i} + 0.5 \times M_{infx,i+1}$$

$$M_{Bx} = 438.17 + 0.5 \times 568.24 = 722.29\ kN\ cm$$

$$M_{By} = M_{supy,i} + 0.5 \times M_{infy,i+1}$$

$$M_{By} = 874.29 + 0.5 \times 1064.11 = 1406.34\ kN\ cm$$

$$M_{Ax} = M_{infx,i+1} + 0.5 \times M_{supx,i}$$

$$M_{Ax} = 568.24 + 0.5 \times 438.17 = 787.32\ kN\ cm$$

$$M_{Ay} = M_{infy,i+1} + 0.5 \times M_{supy,i}$$

$$M_{Ay} = 1064.11 + 0.5 \times 874.29 = 1501.25\ kN\ cm$$

2.4.4.4 Momentos Mínimos de Primeira Ordem

$$M_{1dx,min} = N_d \times (0.015 + 0.03 \times h_x)$$

$$M_{1dx,min} = 6324.88 \times (1.5 + 0.03 \times 25) = 14230.98\ kN\ cm\ (governa!)$$

$$M_{1dy,min} = N_d \times (0.015 + 0.03 \times h_y)$$

$$M_{1dy,min} = 6324.88 \times (1.5 + 0.03 \times 40) = 17077\ kN\ cm\ (governa!)$$

2.4.4.5 Excentricidades de Primeira Ordem

$$e_{1d,x} = \frac{14230.98}{6324.88} = 2.25\ cm$$

$$e_{1d,y} = \frac{17077}{6324.88} = 2.70\ cm$$

2.4.5 Esbeltes Limite

$$\alpha_b = 1.0$$

$$\lambda_{1x} = \frac{25 + 12.5 \times {}^{e_1}/_{h}}{\alpha_b} = \frac{25 + 12.5 \times {}^{2.25}/_{25}}{1.00} = 26.12$$

$$\lambda_{1y} = \frac{25 + 12.5 \times {}^{e_1}/_{h}}{\alpha_b} = \frac{25 + 12.5 \times {}^{2.70}/_{40}}{1.00} = 25.84$$

$$\lambda_{1y} = \lambda_{1x} = 35$$

Ambos os eixos necessitam de excentricidade de segunda ordem.

2.4.6 Imperfeições Locais

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \times \sqrt{l}}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \times \sqrt{59.11}} = 1.30 \times 10^{-3}$$

$$\theta_a = \theta_1 \times \sqrt{\frac{1 + {}^{1}/_{n}}{2}}$$

$$\theta_a = 1.30 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{1 + {}^{1}/_{2}}{2}} = 0.001126$$

$$e_a = \theta_1 \times \frac{l}{2}$$

$$e_a = 1.30 \times 10^{-3} \times \frac{59.11}{2} = 3.84\ cm$$

2.4.7 Método de Curvatura Aproximada

Para x:

$$v = \frac{N_d}{A_c \times f_{cd}}$$

$$v = \frac{6324.88}{25 \times 40 \times {}^{3}/_{1.4}} = 2.95$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h \times (v + 0.5)} \leq \frac{0.005}{h}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{25 \times (2.95 + 0.5)} \leq \frac{0.005}{25}$$

$$\frac{1}{r} = 5.80 \times 10^{-5} \leq 2 \times 10^{-4}$$

$$e_{2x} = \frac{l_e^2}{10 \times r} = \frac{515^2 \times 5.80 \times 10^{-5}}{10} = 1.54\ cm$$

$$M_{2dx} = e_{2x} \times N_d = 1.54 \times 6324.88 = 9740.31\ kN\ cm$$

Para y:

$$v = \frac{N_d}{A_c \times f_{cd}}$$

$$v = \frac{6324.88}{25 \times 40 \times {}^{3}/_{1.4}} = 2.95$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h \times (v + 0.5)} \leq \frac{0.005}{h}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{40 \times (2.95 + 0.5)} \leq \frac{0.005}{40}$$

$$\frac{1}{r} = 3.62 \times 10^{-5} \leq 1.25 \times 10^{-4}$$

$$e_{2y} = \frac{l_e^2}{10 \times r} = \frac{515^2 \times 3.62 \times 10^{-5}}{10} = 0.96\ cm$$

$$M_{2dy} = e_{2y} \times N_d = 0.96 \times 6324.88 = 6071.88\ kN\ cm$$

2.4.8 Momentos e Excentricidades Totais

$$M_{dx,tot} = M_{1dx,min} + M_{2dx} = 14230.98 + 9740.31 = 23971.29\ kN\ cm$$

$$e_{x,tot} = \frac{23971.29}{6324.88} = 3.78\ cm$$

$$M_{dy,tot} = M_{1dy,min} + M_{2dy} = 17077 + 6071.88 = 23148.88\ kN\ cm$$

$$e_{y,tot} = \frac{23148.88}{6324.88} = 3.66\ cm$$

2.4.9 Cálculo de Armadura

$$u = \frac{M_d}{A_c \times h \times f_{cd}} = \frac{23971.29}{25 \times 40 \times 25 \times {}^{3}/_{1.4}} = 0.45$$

$$v = 2.95$$

Utilizando o ábaco A-31 de Venturini:

$$\omega = 1.7$$

$$A_s = \frac{\omega \times A_c \times f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{1.7 \times 40 \times 25 \times {}^{3}/_{1.4}}{{}^{50}/_{1.15}} = 83.78\ cm^2$$

Logo, serão usadas 12 armaduras de 32 mm.

2.4.10 Cálculo de Estribos

$$\phi \geq \begin{cases} 5\ mm \\ \dfrac{\phi_l}{4} \end{cases}$$

$$\phi \geq \begin{cases} 5\ mm \\ \dfrac{32\ mm}{4} \end{cases}$$

$$\phi \geq 8\ mm$$

Usaremos 8mm

$$s_{máx} \leq \begin{cases} 20\ cm \\ b \\ 12\phi_l\ (CA50) \end{cases}$$

$$s_{máx} \leq \begin{cases} 20\ cm \\ 25\ cm \\ 12 * 3{,}2\ (CA50) \end{cases}$$

$$s_{máx} \leq 20\ cm$$

$$s_{máx} \leq 90000 \frac{\phi_t^2}{\phi_l} * \frac{1}{f_{yk}}$$

$$s_{máx} \leq 90000 \frac{8^2}{32} * \frac{1}{\frac{500}{1{,}15}} = 414\ mm = 41{,}4\ cm$$

$$s_{máx} = 20\ cm$$

2.4.10.1 Proteção contra flambagem

$$l_{prot} = 20 * 0{,}8 = 16\ cm$$

2.4.10.2 Detalhamento