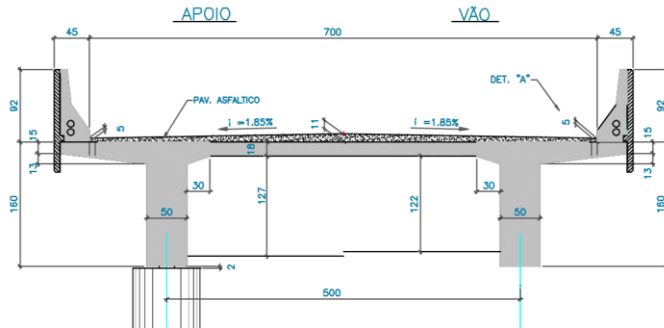
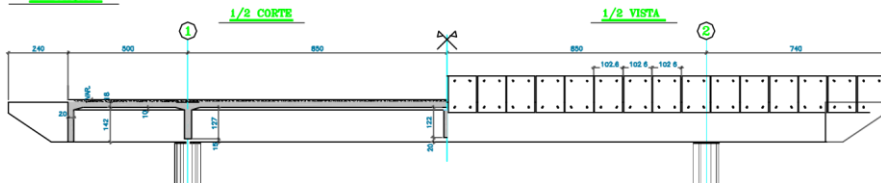


Exemplo de cálculo das lajes do tabuleiro utilizando as tabelas de Rüsck

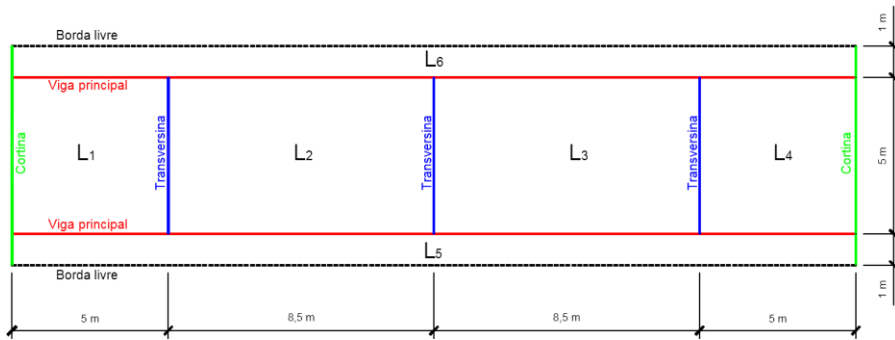
SEÇÃO TRANSVERSAL



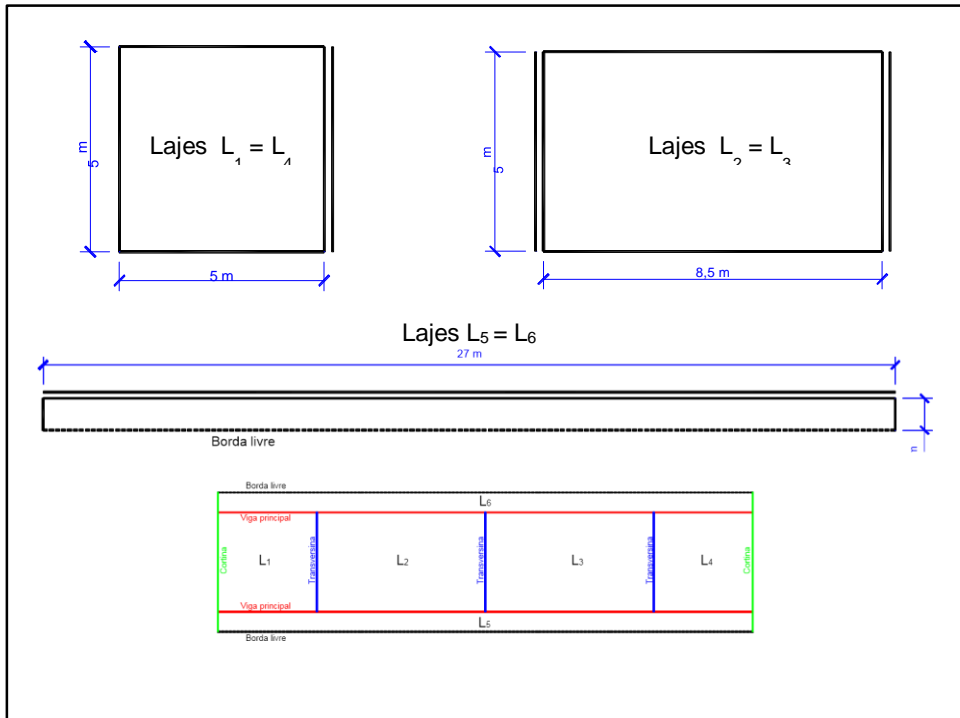
ELEVACÃO



Planta esquemática do tabuleiro



Esquema das lajes isoladas



1- Momentos fletores nas lajes “internas” (L₁, L₂, L₃, L₄)

1.1- Cálculo das lajes “isoladas”

1.1.1- Lajes L₁ = L₄

a) Cargas permanente

Laje: $h = 18\text{ cm}$ Pavimentação: $e_{\text{médio}} = (5 + 11) / 2 = 8\text{ cm}$

Peso próprio da laje: $0,18 \times 25 = 4,50\text{ kN/m}^2$

Peso da pavimentação: $0,08 \times 24 = 1,92\text{ kN/m}^2$

Peso do recapeamento: $2,00\text{ kN/m}^2$

$$g = 8,42\text{ kN/m}^2$$

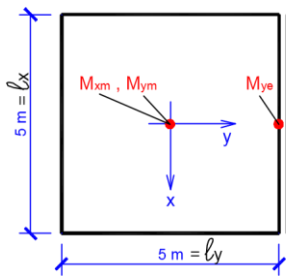
Carga móvel (classe TB 450)

$Q = 75\text{ kN}$ (peso de uma roda); $q = 5\text{ kN/m}^2$ (carga distribuída na pista)

Coeficiente de impacto

$$l = 5\text{ m (menor dos vãos)} \Rightarrow \varphi = \text{CIV} = 1,00 + 1,06 \cdot [20 / (5 + 50)] = 1,385$$

b) Identificação a tabela de Rüsç



$$l_x = 5\text{m} , \quad l_y = 5\text{m} \Rightarrow l_y / l_x = 1$$

Direção do tráfego

Consultando o índice das tabelas: tabela 85 , página 57

Momentos que podem ser calculados:

$$M_{xm} , M_{ym} , M_{ye}$$

Parâmetros para utilização das tabelas: l_x / a , t / a

$$l_x = 5\text{m} , \quad a = 2\text{m} \Rightarrow l_x / a = 2,5$$

$$t = t' + 2 \cdot e + h \quad t' = \sqrt{0,20 \times b} = \sqrt{0,20 \times 0,50} = 0,316\text{m}$$

$$e = e_{\text{médio}} = 8\text{cm} = 0,08\text{m}$$

$$h = 18\text{cm} = 0,18\text{m}$$

$$t = 0,316 + 2 \times 0,08 + 0,18 = 0,656\text{m} \Rightarrow t / a = 0,656 / 2 = 0,328$$

c) Momentos fletores da carga permanente

$$M_g = k \cdot g \cdot l_x^2$$

k = coeficiente fornecido pela tabela

$$g = 8,42 \text{ kN/m}^2 \quad l_x = 5\text{m}$$

$$M_{xm,g} = 0,030 \times 8,42 \times 5^2 = 6,32 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,g} = 0,036 \times 8,42 \times 5^2 = 7,58 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ye,g} = -0,084 \times 8,42 \times 5^2 = -17,68 \text{ kN.m/m}$$

d) Momentos fletores da carga móvel

$$M_q = \varphi (Q \cdot M_L + q_1 \cdot M_p + q_2 \cdot M_p)$$

$$\varphi = 1,385 \quad Q = 75 \text{ kN} \quad q_1 = q_2 = q = 5 \text{ kN/m}^2$$

M_L = coeficiente fornecido pela tabela em função de l_x/a e t/a

M_p = coeficiente fornecido pela tabela em função de l_x/a

M_p = coeficiente fornecido pela tabela em função de l_x/a

$$l_x/a = 2,5$$

$$t/a = 0,328 \Rightarrow \text{é necessário interpolar } M_L \text{ entre}$$

$$t/a = 0,25 \text{ e } 0,50$$

$M_{xm,q}$:

l_x/a	M_L para t/a			M_p	M_p'
	0,25	0,328	0,50		
2,5	0,323	0,295	0,233	-	0,17

$$M_{xm,q} = 1,385 \times (75 \times 0,295 + 5 \times 0 + 5 \times 0,17) = 31,82 \text{ kN.m/m}$$

$M_{ym,q}$:

l_x/a	M_L para t/a			M_p	M_p'
	0,25	0,328	0,50		
2,5	0,281	0,271	0,250	-	0,27

$$M_{ym,q} = 1,385 \times (75 \times 0,271 + 5 \times 0 + 5 \times 0,27) = 30,02 \text{ kN.m/m}$$

$M_{ye,q}$:

l_x/a	M_L para t/a			M_p	M_p'
	0,25	0,328	0,50		
2,5	0,76	0,741	0,70	-	0,66

$$M_{ye,q} = -1,385 \times (75 \times 0,741 + 5 \times 0 + 5 \times 0,66) = -81,54 \text{ kN.m/m}$$

1.1.2- Lajes $L_2 = L_3$

a) Cargas

Carga permanente

Laje: $h = 18\text{cm}$ Pavimentação: $e_{\text{médio}} = (5 + 11) / 2 = 8\text{cm}$

Peso próprio da laje: $0,18 \times 25 = 4,50 \text{ kN/m}^2$

Peso da pavimentação: $0,08 \times 24 = 1,92 \text{ kN/m}^2$

Peso do recapeamento: $2,00 \text{ kN/m}^2$

$g = 8,42 \text{ kN/m}^2$ É a mesma das lajes L_1 e L_4

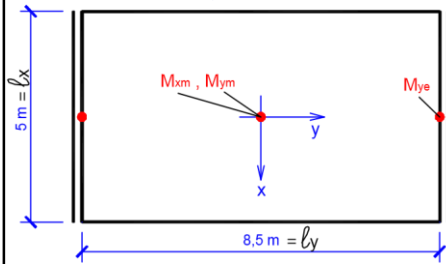
Carga móvel (classe 45)

$Q = 75 \text{ kN}$ (peso de uma roda) $q = 5 \text{ kN/m}^2$ (carga distribuída na pista)

Coefficiente de impacto $\ell = 5\text{m}$ (menor dos vãos) \Rightarrow

$$\varphi = \text{CIV} = 1,00 + 1,06 \cdot [20 / (5 + 50)] = 1,385$$

b) Identificação da tabela de Rüsç



$$l_x = 5\text{m} , l_y = 8,5\text{m}$$

$$\Rightarrow l_y / l_x = 1,7$$

Direção do tráfego

Momentos que podem ser calculados:

$$M_{xm} , M_{ym} , M_{ye}$$

Consultando o índice das tabelas:

$$\text{tabela 88} \Rightarrow l_y / l_x = 2,0 \quad \text{e} \quad \text{tabela 89} \Rightarrow l_y / l_x = 1,5$$

As tabelas 88 e 89 "não existem"

As indicações para o cálculo são fornecidas no índice:

para a carga permanente \Rightarrow valores de k estão no índice para a carga móvel $\Rightarrow M_{xm}$ e M_{ym} utilizar a tabela 1
 M_{ye} utilizar a tabela 58

Parâmetros para utilização da tabela: l_x / a , t / a

$$l_x = 5\text{m} , a = 2\text{m} \Rightarrow l_x / a = 2,5$$

$$t = 0,316 + 2 \times 0,08 + 0,18 = 0,656\text{m} \Rightarrow t / a = 0,328$$

são iguais aos da laje L_1

c) Momentos fletores da carga permanente

$M_g = k \cdot g \cdot l_x^2$ k = coeficiente fornecido pelo índice das tabelas em

função de l_y / l_x $l_y / l_x = 1,7 \Rightarrow$ é necessário interpolar entre $l_y / l_x = 2,0$

e 1,5; $g = 8,42 \text{ kN/m}^2$ $l_x = 5\text{m}$

l_y / l_x	Valores de k para		
	M_{xm}	M_{ym}	M_{ye}
2,0	0,084	0,037	-0,119
1,7	0,066	0,038	-0,111
1,5	0,054	0,039	-0,105

$$M_{xm,g} = 0,066 \times 8,42 \times 5^2 = 13,89 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,g} = 0,038 \times 8,42 \times 5^2 = 8,00 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ye,g} = -0,111 \times 8,42 \times 5^2 = -23,37 \text{ kN.m/m}$$

d) Momentos fletores da carga móvel

$$M_q = \varphi (Q \cdot M_L + q_1 \cdot M_p + q_2 \cdot M_{p'})$$

$$\varphi = 1,385 \quad Q = 75 \text{ kN} \quad q_1 = q_2 = q = 5 \text{ kN/m}^2$$

M_L = coeficiente fornecido pela tabela em função de l_x/a e t/a

M_p = coeficiente fornecido pela tabela em função de l_x/a

$M_{p'}$ = coeficiente fornecido pela tabela em função de l_x/a

$l_x/a = 2,5$; $t/a = 0,328$ \Rightarrow é necessário interpolar

M_L entre $t/a = 0,25$ e $0,50$

Tabela 1 com tráfego na direção y $\Rightarrow M_{xm}$ e M_{ym}

Tabela 58 com tráfego na direção y $\Rightarrow M_{ye}$

Tabela 1 com tráfego na direção y $\Rightarrow M_{xm}$ e M_{ym}

$M_{xm,q}$:

l_x/a	M_L para t/a			M_p	$M_{p'}$
	0,25	0,328	0,50		
2,5	0,59	0,581	0,56	0,58	0,96

$$M_{xm,q} = 1,385 \times (75 \times 0,581 + 5 \times 0,58 + 5 \times 0,96) = 71,02 \text{ kN.m/m}$$

$M_{ym,q}$:

l_x/a	M_L para t/a			M_p	$M_{p'}$
	0,25	0,328	0,50		
2,5	0,338	0,323	0,290	0,10	0,24

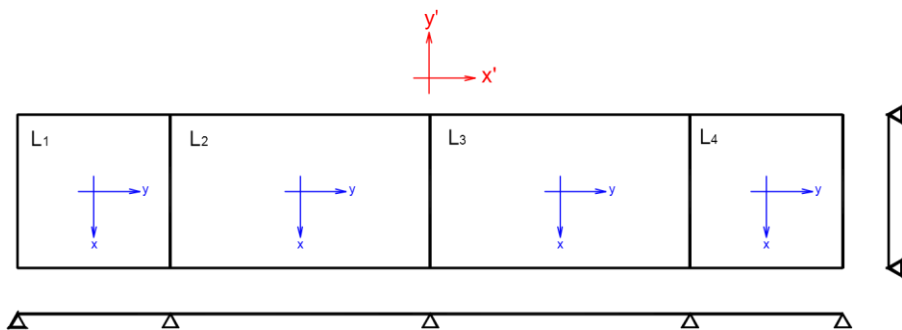
$$M_{ym,q} = 1,385 \times (75 \times 0,323 + 5 \times 0,10 + 5 \times 0,24) = 35,91 \text{ kN.m/m}$$

Tabela 58 com tráfego na direção y $\Rightarrow M_{ye} M_{ye,q}$:

l_x/a	M_L para t/ a			M_p	$M_{p'}$
	0,25	0,328	0,50		
2,5	0,85	0,84	0,82	0,39	0,95

$$M_{ye,q} = -1,385 \times (75 \times 0,84 + 5 \times 0,39 + 5 \times 0,95) = -96,53 \text{ kN.m/m}$$

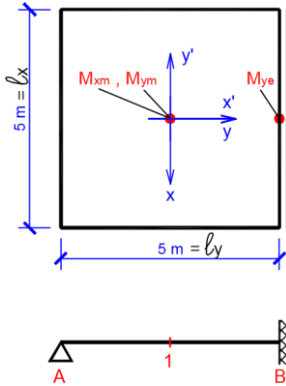
1.2- Correção para laje contínua



Direção da continuidade da laje $\Rightarrow x'$

Corrigir somente os efeitos da carga móvel

1.2.1- Lajes $L_1 = L_4$



$$M_{x_m,q} = 31,82 \quad M_{y_m,q} = 30,02 \quad M_{y_e,q} = -81,54$$

$$l_{x'} = l_y = 5\text{m} \quad l_{y'} = l_x = 5\text{m} \Rightarrow l_{y'} / l_{x'} = 1$$

Laje marginal ou extrema

Placa vinculada nos 4 lados

Coefficientes fornecidos pela tabela de correção:

$$M_A = M_B/2 \quad \alpha_{01} = 1,05 \quad \alpha_{0B} = 0,96$$

Os vãos são menores que 20m:

$$\alpha_1 = \frac{1,2}{1 + \frac{1}{100}} \alpha_{01} = \frac{1,2}{1 + \frac{5}{100}} \cdot 0,96 = 1,20$$

$$\alpha_B = \frac{1,2}{1 + \frac{1}{100}} \alpha_{0B} = \frac{1,2}{1 + \frac{5}{100}} \cdot 0,96 = 1,10$$

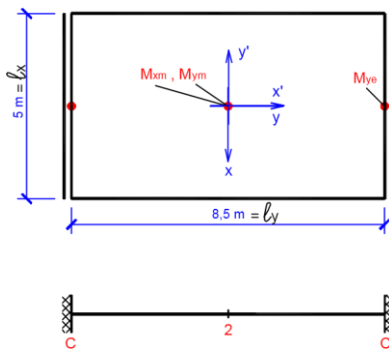
$M_{x'm,q} = M_{y_m,q} \Rightarrow$ correção com $\alpha_1 \Rightarrow M_{y_m,q,corr} = M_{y_m,q} \cdot \alpha_1 = 30,02 \times 1,20 = 36,02 \text{ kNm/m}$

$M_{y'm,q} = M_{x_m,q} \Rightarrow$ não precisa ser corrigido \Rightarrow não está na direção da continuidade

$M_{x'e,q} = M_{y_e,q} \Rightarrow$ correção com $\alpha_B \Rightarrow M_{y_e,q,corr} = M_{y_e,q} \cdot \alpha_B = -81,54 \times 1,10 = -89,69 \text{ kNm/m}$

Após as correções: $M_{x_m,q} = 36,02 \text{ kNm/m}$ $M_{y_m,q} = 35,91 \text{ kNm/m}$ $M_{y_e,q} = -89,69 \text{ kNm/m}$

1.2.2- Lajes $L_2 = L_3$



$$M_{x_m,q} = 71,02 \quad M_{y_m,q} = 35,91 \quad M_{y_e,q} = -96,53$$

$$l_{x'} = l_y = 8,5\text{m} \quad l_{y'} = l_x = 5\text{m} \Rightarrow l_{y'} / l_{x'} = 0,59$$

Laje interna

Placa vinculada nos 4 lados

Coefficientes fornecidos pela tabela de

correção: $\alpha_{02} = 1,05$ $\alpha_{0C} = 1,00$

Os vãos são menores que 20m:

$$\alpha_2 = \frac{1,2}{1 + \frac{1}{100}} \alpha_{02} = \frac{1,2}{1 + \frac{8,5}{100}} \cdot 1,05 = 1,16$$

$$\alpha_C = \frac{1,2}{1 + \frac{1}{100}} \alpha_{0C} = \frac{1,2}{1 + \frac{8,5}{100}} \cdot 1,00 = 1,11$$

$M_{x'm,q} = M_{y_m,q} \Rightarrow$ correção com $\alpha_2 \Rightarrow M_{y_m,q,corr} = M_{y_m,q} \cdot \alpha_2 = 35,91 \times 1,16 = 41,66$

$M_{y'm,q} = M_{x_m,q} \Rightarrow$ não precisa ser corrigido \Rightarrow não está na direção da continuidade

$M_{x'e,q} = M_{y_e,q} \Rightarrow$ correção com $\alpha_C \Rightarrow M_{y_e,q,corr} = M_{y_e,q} \cdot \alpha_C = -96,53 \times 1,11 = -107,15$

Após as correções: $M_{x_m,q} = 71,02$ $M_{y_m,q} = 41,66$ $M_{y_e,q} = -107,1$

1.3- Valores finais para dimensionamento no E.L.U.

Peso próprio da laje = 4,50 kN/m²

Carga permanente total: $g = 8,42 \text{ kN/m}^2$

Peso próprio / $g = 0,52 < 0,75 \Rightarrow$ pontes em geral

$\Rightarrow \gamma_g = 1,35$ e $\gamma_q = 1,5$

1.3.1- Lajes $L_1 = L_4$

$$M_{xm,d} = 1,35 \times 6,32 + 1,5 \times 36,02 = 62,56 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,d} = 1,35 \times 7,58 + 1,5 \times 35,91 = 64,10 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ye,d} = 1,35 \times (-17,68) + 1,5 \times (-89,69) = -158,40 \text{ kN.m/m}$$

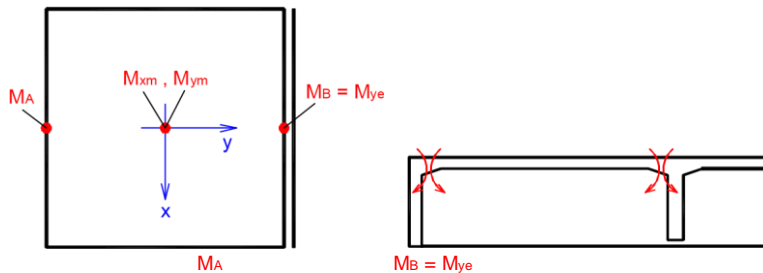
1.3.2- Lajes $L_2 = L_3$

$$M_{xm,d} = 1,35 \times 13,89 + 1,5 \times 71,02 = 125,28 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,d} = 1,35 \times 8,00 + 1,5 \times 41,66 = 73,29 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ye,d} = 1,35 \times (-23,37) + 1,5 \times (-107,1) = -192,20 \text{ kN.m/m}$$

1.3.3- Momento fletor negativo das lajes $L_1 = L_4$ na ligação com a cortina



$$M_A = M_B / 2 = M_{ye} / 2$$

$$M_A = -158,40 / 2 = -79,2 \text{ kNm/m}$$