

ESTUDO COMPARATIVO FUNGIBLOCO[®] / FUNGI LECA[®]

A. SERRA NEVES

(Prof. Associado – Dep. Engenharia Civil da FEUP)

1. INTRODUÇÃO

Por solicitação da Pavileca, S.A. foi elaborado o presente estudo, tendo como objectivo comparar os custos associados a duas soluções alternativas para a realização de lajes fungiformes incorporando blocos de aligeiramento realizados com betão leve Leca[®]. A primeira alternativa, o Fungibloco[®], utiliza módulos de aligeiramento de $0.75 \times 0.75 \times 0.30 \text{ m}^3$, realizados com blocos com as dimensões em planta $0.250 \times 0.750 \text{ m}^2$, e nervuras com 15 cm de espessura, ver figura 1. A segunda alternativa, o Fungi Leca[®], usa módulos de aligeiramento de $0.80 \times 0.80 \times 0.30 \text{ m}^3$, recorrendo a blocos de $0.265 \times 0.800 \text{ m}^2$, altura de 0.30 m e nervuras que podem ter as espessuras de 10, 12 e 15 cm, ver figura 2. Foi considerada uma espessura para a lajeta de 5 cm, para todas as hipóteses ensaiadas. A altura total adoptada para a laje é de 35 cm.

Foi tomado como base para estudo, uma laje fungiforme de um edifício corrente de escritórios, apoiada numa malha ortogonal de pilares espaçados de 6.0 m por 7.2 m. Os pilares são dotados de secção circular. Foi admitido que o painel em estudo se integra numa laje com um grande número de vãos nas duas direcções.

No estudo económico comparativo foram considerados os custos associados aos materiais, betão, blocos de aligeiramento e armaduras. Não se considerou o custo associado à mão de obra, cofragens e escoramentos, porque tais custos são comuns a todas as alternativas.

2. ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO

Foi utilizado um programa de cálculo automático que aborda as lajes fungiformes aligeiradas com base no Método dos Pórticos Equivalentes, sendo os esforços calculados pelo método directo com os coeficientes ACI.

Este método pressupõe algumas condições que se verificam no caso presente:

- Existe um mínimo de 3 vãos em cada direcção;
- Os painéis possuem vãos onde $0.5 < l_y/l_x < 2.0$;
- Vãos adjacentes em cada direcção não diferem mais que um terço do vão maior;
- Os pilares não estão desalinhados mais que 10% do vão;
- As acções consideradas são todas verticais;
- A estrutura está contraventada;
- A sobrecarga é menor que 2 vezes as cargas permanentes;
- Os esforços obtidos não são objecto de qualquer redistribuição de esforços posterior.

Foram verificadas as condições regulamentares de segurança previstas no EC2, nomeadamente o estado limite último de resistência relativamente ao momento flector, ao esforço transversal e ao punçoamento. Foi também observado o estado limite de utilização associado à deformação através da relação limite vão/altura útil prevista no EC2.

A interrupção das armaduras foi efectuada de acordo com o ACI.

Os materiais considerados foram armaduras da classe A400, betão da classe C20/25 e betão leve Leca[®] da Pavileca para os blocos de aligeiramento com um peso específico médio de 4.8 kN/m³.

3. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Nos anexos 1 a 4 apresentam-se os cálculos detalhados correspondentes a cada uma das alternativas ensaiadas. No quadro 1 resumem-se os resultados obtidos associados a painéis interiores.

Quadro 1 – Volumes e custos das soluções alternativas

Laje	Betão		Aligeiramento		Armaduras		Custo (€)	Comparação 100x(i)/(1)
	(m3)	(€/m3)	(m3)	(€/m3)	(kg)	(€/kg)		
Fungibloco®-15(1)	6.956	80	8.164	1.49	442.155	0.8	1.126	100.00 %
Fungi Leca®-10 (2)	5.831	80	9.289	1.73	460.800	0.8	1.089	96.70 %
Fungi Leca®-12 (3)	6.230	80	8.890	1.73	441.753	0.8	1.094	97.16 %
Fungi Leca®-15 (4)	6.783	80	8.337	1.73	424.656	0.8	1.109	98.49 %

4. CONCLUSÕES

Tomando como referência a Fungibloco®-15 pode concluir-se da análise do quadro 1 que se verificam as reduções de custo descritas no quadro 2.

Quadro 2 – Redução de custo nas soluções Fungi Leca®

Laje	Redução de custo dos materiais
Fungileca-10	3.30%
Fungileca-12	2.84 %
Fungileca-15	1.51 %

Porto, 23 de Setembro de 2002

*(Afonso A. de Serra Neves – Engenheiro Civil)
Professor Associado do Dep. Eng^a Civil da FEUP*

ANEXO 1

CALCULO DE LAJES FUNGIFORMES ALIGEIRADAS

Fungibloco® - 15

1. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

- Espacamento entre pilares
 - lx (maior vao) = 7.200 (met.)
 - ly (menor vao) = 6.000 (met.)
 - seccao circular com diametro $\varnothing = .400$ (met.)
- Espessura da laje
 - h (espessura total) = .350 (met.)
 - h0 (espessura da lajeta) = .050 (met.)
 - (espessura da lajeta deve garantir pos.eixo neutro)
- Blocos (ou vazios) de aligeiramento
 - bx (dimensao seg. OX) = .750 (met.)
 - by (dimensao seg. OY) = .750 (met.)
- Espessura das nervuras
 - bx0 (dimensao seg. OX) = .150 (met.)
 - by0 (dimensao seg. OY) = .150 (met.)

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- Betao complementar B25
- Armaduras A400
- Aligeiramento com peso especifico aparente 4.80 (kN/m³)
- Outros dados
 - Altura util adoptada = .310 (met.)
 - Percentagem media de armadura de flexao = .010

3. ACCOES

- Peso proprio g1 4.542 (kN/m²)
- Revest. + div. + outros g2 3.000 (kN/m²)
- Sobrecarga de utilizacao q 2.00 (kN/m²)
- Carga total de calculo psd13.181 (kN/m²)

4. ESTADO LIMITE DE DEFORMACAO

- Maior vao l (=lef=lx) 7.20 (met.)
 - l/d < C.k1.k2.k3 (C=21 a 30)
 - k1=8,5/lef= 1.0 (k1=1,0 se lef<8,5)
 - k2=(400/fyk)*(As,ef/As,calc)= 1.0
 - k3=0.8 (laje aligeirada; viga em T)
 - l/d=23.2 No intervalo: 21.k1.k2.k3 - 30.k1.k2.k3

Estado Limite de Deformacao verificado. 16.8<23.2<24.0

5. PUNCOAMENTO

- Perimetro critico $u = 4.18$ (met.)
- $K = 1,6-d = 1.29$
- $Vsd = 569.430$ (kN)
- $vsd = 156.726$ (kN/met.)
- $vr d1 = 191.952$ (kN/met.)
- $vr d2 = 307.123$ (kN/met.)
- Não e necessaria Asw .

6. ESFORÇO TRANSVERSO NAS NERVURAS

Esforço transverso nas nervuras seg. OX:

- Valor de $asw/s, min$ (por nervura) seg. OX $awminx: .000147$
- Valor de Vcd (kN / nervur) $vcdx: \dots\dots\dots 30.2250$
- Valor do Vrd da armadura minima (kN/nervur) $vrminx: 77.1815$
- Valor do Vsd, max observado (kN / nervur) $vsdmax: 29.5629$
 - Estribos de 6 mm afastados de: (m) $\dots\dots\dots .28$

Esforço transverso nas nervuras seg. OY:

- Valor de $asw/s, min$ (por nervura) seg. OY $awminy: .000122$
- Valor de Vcd (kN / nervur) $vcdx: \dots\dots\dots 30.2250$
- Valor do Vrd da armadura minima (kN/nervur) $vrminy: 77.1815$
- Valor do Vsd, max observado (kN / nervur) $vsdmay: 24.5567$
 - Estribos de 6 mm afastados de: (m) $\dots\dots\dots .28$

7. CALCULO DAS ARMADURAS DE FLEXAO

- Armaduras minimas de flexao (cm²)
 - As, min neg. por metro - $\dots\dots\dots asnmin = 4.65$
 - As, min pos. nervuras OX por nervura - $aspmix = .70$
 - As, min pos. nervuras OY por nervura - $aspmiy = .70$
- Porticos segundo OX - paineis interiores
 - $ln =$ vao livre $\dots\dots = 6.84$ (met.)
 - $M0, x = psd * ly * ln * ln / 8 = 463.06$ (kN.m)
 - $Msd, neg = M0, x * 0,65 = 300.99$ (kN.m)
 - $Msd, pos = M0, x * 0,35 = 162.07$ (kN.m)

Faixa dos pilares: (largura=1.50 m)

$msd, neg = 0,375 * Msd, neg / (1.50) = 75.25$ (kN.m/m)

$msd, pos = 0,275 * Msd, pos / (1.50) = 29.71$ (kN.m/m)

-Armaduras:

- superior (cm²/m): 7.39
- inferior (cm²/m): 3.18
- inferior (cm²/nervura): 2.86

Faixa lateral: (largura=1.50 m)

$msd, neg = 0,125 * Msd, neg / (1.50) = 25.08$ (kN.m/m)

$msd, pos = 0,225 * Msd, pos / (1.50) = 24.31$ (kN.m/m)

-Armaduras:

- superior (cm²/m): 2.37
- inferior (cm²/m): 2.54
- inferior (cm²/nervura): 2.29

- Porticos segundo OY - paineis interiores

ln= vao livre=5.64 (met.)
 $M0,y=psd*lx*ln*ln/8 =377.90$ (kN.m)
 $Msd,neg=M0,y * 0,65 =245.63$ (kN.m)
 $Msd,pos=M0,y * 0,35 =132.26$ (kN.m)

Faixa dos pilares: (largura=1.50 m)

msd,neg = 58.00 (kN.m/m)
 msd,pos = 20.94 (kN.m/m)

-Armaduras:

superior (cm²/m): 5.62
inferior (cm²/m): 2.15
inferior (cm²/nervura): 1.94

Faixa lateral: (largura=2.10 m)

msd,neg = 17.06 (kN.m/m)
 msd,pos = 16.53 (kN.m/m)

-Armaduras:

superior (cm²/m): 1.60
inferior (cm²/m): 1.67
inferior (cm²/nervura): 1.50

- Maximas profundidades do eixo neutro (para moment. neg.)

Valor maximo de x para paineis interiores (cm) 2.84
Valor maximo de x para paineis exteriores (cm) 3.31

8. MEDICOES -Incluidas armaduras de distrib.e construtiva)

-A armadura de dist/const. foi de: 5 ø 8 / m

- Resumo de quantidades por painel interior

Armaduras (kg) = 442.155
Betao complementar (m³) = 6.956
Volume aparente do aligeiramento (m³) 8.164

ANEXO 2

CALCULO DE LAJES FUNGIFORMES ALIGEIRADAS

Fungi Leca® - 10

1. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

- Espacamento entre pilares
 - lx (maior vao) = 7.200 (met.)
 - ly (menor vao) = 6.000 (met.)
 - seccao circular com diametro $\varnothing = .400$ (met.)
- Espessura da laje
 - h (espessura total) = .350 (met.)
 - h0 (espessura da lajeta) = .050 (met.)
 - (espessura da lajeta deve garantir pos.eixo neutro)
- Blocos (ou vazios) de aligeiramento
 - bx (dimensao seg. OX) = .800 (met.)
 - by (dimensao seg. OY) = .800 (met.)
- Espessura das nervuras
 - bx0 (dimensao seg. OX) = .100 (met.)
 - by0 (dimensao seg. OY) = .100 (met.)

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- Betao complementar B25
- Armaduras A400
- Aligeiramento com peso especifico aparente 3.24 (kN/m³)
- Outros dados
 - Altura util adoptada = .310 (met.)
 - Percentagem media de armadura de flexao = .010

3. ACCOES

- Peso proprio g1 3.592 (kN/m²)
- Revest. + div. + outros g2 3.000 (kN/m²)
- Sobrecarga de utilizacao q 2.00 (kN/m²)
- Carga total de calculo psd11.899 (kN/m²)

4. ESTADO LIMITE DE DEFORMACAO

- Maior vao l (=lef=lx) 7.20 (met.)
 - $l/d < C.k1.k2.k3$ (C=21 a 30)
 - $k1=8,5/lef= 1.0$ ($k1=1,0$ se $lef<8,5$)
 - $k2=(400/fyk)*(As,ef/As,calc)= 1.0$
 - $k3=0.8$ (laje aligeirada; viga em T)
 - $l/d=23.2$ No intervalo: $21.k1.k2.k3 - 30.k1.k2.k3$

Estado Limite de Deformacao verificado. $16.8 < 23.2 < 24.0$

5. PUNCOAMENTO

- Perimetro critico $u = 4.18$ (met.)
- $K = 1,6-d = 1.29$
- $Vsd = 514.050$ (kN)
- $vsd = 141.483$ (kN/met.)
- $vr d1 = 191.952$ (kN/met.)
- $vr d2 = 307.123$ (kN/met.)
- Não e necessaria Asw .

6. ESFORÇO TRANSVERSO NAS NERVURAS

Esforço transverso nas nervuras seg. OX:

- Valor de $asw/s, min$ (por nervura) seg. OX $awminx: .000100$
- Valor de Vcd (kN / nervur) $vcdx: \dots\dots\dots 20.1500$
- Valor do Vrd da armadura minima (kN/nervur) $vrminx: 51.4543$
- Valor do Vsd, max observado (kN / nervur) $vsdmax: 26.6877$
- Estribos de 6 mm afastados de: (m) $\dots\dots\dots .16$

Esforço transverso nas nervuras seg. OY:

- Valor de $asw/s, min$ (por nervura) seg. OY $awminy: .000100$
- Valor de Vcd (kN / nervur) $vcdx: \dots\dots\dots 20.1500$
- Valor do Vrd da armadura minima (kN/nervur) $vrminy: 51.4543$
- Valor do Vsd, max observado (kN / nervur) $vsdmay: 22.1684$
- Estribos de 6 mm afastados de: (m) $\dots\dots\dots .16$

7. CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FLEXÃO

- Armaduras minimas de flexão (cm²)
 - As, min neg. por metro - $\dots\dots\dots asnmin = 4.65$
 - As, min pos. nervuras OX por nervura - $aspmix = .47$
 - As, min pos. nervuras OY por nervura - $aspmiy = .47$
- Porticos segundo OX - paineis interiores
 - $ln =$ vao livre $\dots\dots = 6.84$ (met.)
 - $M0, x = psd * ly * ln * ln / 8 = 418.03$ (kN.m)
 - $Msd, neg = M0, x * 0,65 = 271.72$ (kN.m)
 - $Msd, pos = M0, x * 0,35 = 146.31$ (kN.m)

Faixa dos pilares: (largura=1.50 m)

$msd, neg = 0,375 * Msd, neg / (1.50) = 67.93$ (kN.m/m)

$msd, pos = 0,275 * Msd, pos / (1.50) = 26.82$ (kN.m/m)

-Armaduras:

superior (cm²/m): 6.63

inferior (cm²/m): 3.01

inferior (cm²/nervura): 2.71

Faixa lateral: (largura=1.50 m)

$msd, neg = 0,125 * Msd, neg / (1.50) = 22.64$ (kN.m/m)

$msd, pos = 0,225 * Msd, pos / (1.50) = 21.95$ (kN.m/m)

-Armaduras:

superior (cm²/m): 2.14

inferior (cm²/m): 2.38

inferior (cm²/nervura): 2.15

- Porticos segundo OY - paineis interiores

ln= vao livre=5.64 (met.)
 $M_{0,y} = psd \cdot lx \cdot ln \cdot ln / 8 = 341.14$ (kN.m)
 $Msd, neg = M_{0,y} \cdot 0,65 = 221.74$ (kN.m)
 $Msd, pos = M_{0,y} \cdot 0,35 = 119.40$ (kN.m)

Faixa dos pilares: (largura=1.50 m)

msd, neg = 52.36 (kN.m/m)
 msd, pos = 18.91 (kN.m/m)

-Armaduras:

superior (cm²/m): 5.05
 inferior (cm²/m): 2.01
 inferior (cm²/nervura): 1.81

Faixa lateral: (largura=2.10 m)

msd, neg = 15.40 (kN.m/m)
 msd, pos = 14.93 (kN.m/m)

-Armaduras:

superior (cm²/m): 1.45
 inferior (cm²/m): 1.55
 inferior (cm²/nervura): 1.39

- Maximas profundidades do eixo neutro (para moment. neg.)

Valor maximo de x para paineis interiores (cm) 2.55
 Valor maximo de x para paineis exteriores (cm) 2.97

8. MEDICOES -Incluidas armaduras de distrib.e construtiva)
 -A armadura de dist/const. foi de: 5 ø 8 / m

- Resumo de quantidades por painel interior

Armaduras (kg) = 460.800
 Betao complementar (m³) = 5.831
 Volume aparente do aligeiramento (m³) 9.289

ANEXO 3

CALCULO DE LAJES FUNGIFORMES ALIGEIRADAS

Fumgi Leca® - 12

1. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

- Espacamento entre pilares
 - lx (maior vao) = 7.200 (met.)
 - ly (menor vao) = 6.000 (met.)
 - seccao circular com diametro $\varnothing = .400$ (met.)
- Espessura da laje
 - h (espessura total) = .350 (met.)
 - h0 (espessura da lajeta) = .050 (met.)
 - (espessura da lajeta deve garantir pos.eixo neutro)
- Blocos (ou vazios) de aligeiramento
 - bx (dimensao seg. OX) = .800 (met.)
 - by (dimensao seg. OY) = .800 (met.)
- Espessura das nervuras
 - bx0 (dimensao seg. OX) = .120 (met.)
 - by0 (dimensao seg. OY) = .120 (met.)

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- Betao complementar B25
- Armaduras A400
- Aligeiramento com peso especifico aparente 3.24 (kN/m³)
- Outros dados
 - Altura util adoptada = .310 (met.)
 - Percentagem media de armadura de flexao = .010

3. ACCOES

- Peso proprio g1 3.814 (kN/m²)
- Revest. + div. + outros g2 3.000 (kN/m²)
- Sobrecarga de utilizacao q 2.00 (kN/m²)
- Carga total de calculo psd12.199 (kN/m²)

4. ESTADO LIMITE DE DEFORMACAO

- Maior vao l (=lef=lx) 7.20 (met.)
 - $l/d < C.k1.k2.k3$ (C=21 a 30)
 - $k1=8,5/lef= 1.0$ ($k1=1,0$ se $lef<8,5$)
 - $k2=(400/fyk)*(As,ef/As,calc)= 1.0$
 - $k3=0.8$ (laje aligeirada; viga em T)
 - $l/d=23.2$ No intervalo: $21.k1.k2.k3 - 30.k1.k2.k3$

Estado Limite de Deformacao verificado. $16.8 < 23.2 < 24.0$

5. PUNCOAMENTO

- Perimetro critico $u = 4.18$ (met.)
- $K = 1,6-d = 1.29$
- $Vsd = 526.986$ (kN)
- $vsd = 145.044$ (kN/met.)
- $vrđ1 = 191.952$ (kN/met.)
- $vrđ2 = 307.123$ (kN/met.)
- Não é necessária Asw .

6. ESFORÇO TRANSVERSO NAS NERVURAS

Esforço transversal nas nervuras seg. OX:

- Valor de $asw/s, min$ (por nervura) seg. OX $awminx = .000120$
- Valor de Vcd (kN / nervura) $vcdx = 24.1800$
- Valor do Vrd da armadura mínima (kN/nervura) $vrminx = 61.7452$
- Valor do Vsd, max observado (kN / nervura) $vsdmax = 27.9674$
- Estribos de 6 mm afastados de: (m) $.16$

Esforço transversal nas nervuras seg. OY:

- Valor de $asw/s, min$ (por nervura) seg. OY $awminy = .000115$
- Valor de Vcd (kN / nervura) $vcdy = 24.1800$
- Valor do Vrd da armadura mínima (kN/nervura) $vrminy = 61.7452$
- Valor do Vsd, max observado (kN / nervura) $vsdmaxy = 23.2313$
- Estribos de 6 mm afastados de: (m) $.28$

7. CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FLEXÃO

- Armaduras mínimas de flexão (cm²)
 - As, min neg. por metro - $asnmin = 4.65$
 - As, min pos. nervuras OX por nervura - $aspmix = .56$
 - As, min pos. nervuras OY por nervura - $aspmiy = .56$
- Porticos segundo OX - painéis interiores
 - $ln =$ vão livre $= 6.84$ (met.)
 - $M0, x = psd * ly * ln * ln / 8 = 428.55$ (kN.m)
 - $Msd, neg = M0, x * 0,65 = 278.55$ (kN.m)
 - $Msd, pos = M0, x * 0,35 = 149.99$ (kN.m)

Faixa dos pilares: (largura=1.50 m)

$$msd, neg = 0,375 * Msd, neg / (1.50) = 69.64 \text{ (kN.m/m)}$$

$$msd, pos = 0,275 * Msd, pos / (1.50) = 27.50 \text{ (kN.m/m)}$$

-Armaduras:

$$\text{superior (cm}^2\text{/m): } 6.81$$

$$\text{inferior (cm}^2\text{/m): } 3.01$$

$$\text{inferior (cm}^2\text{/nervura): } 2.77$$

Faixa lateral: (largura=1.50 m)

$$msd, neg = 0,125 * Msd, neg / (1.50) = 23.21 \text{ (kN.m/m)}$$

$$msd, pos = 0,225 * Msd, pos / (1.50) = 22.50 \text{ (kN.m/m)}$$

-Armaduras:

$$\text{superior (cm}^2\text{/m): } 2.19$$

$$\text{inferior (cm}^2\text{/m): } 2.39$$

$$\text{inferior (cm}^2\text{/nervura): } 2.20$$

- Porticos segundo OY - paineis interiores

ln= vao livre=5.64 (met.)
 $M_{0,y} = \text{psd} \cdot l_x \cdot l_n \cdot l_n / 8 = 349.73 \text{ (kN.m)}$
 $M_{sd,neg} = M_{0,y} \cdot 0,65 = 227.32 \text{ (kN.m)}$
 $M_{sd,pos} = M_{0,y} \cdot 0,35 = 122.41 \text{ (kN.m)}$

Faixa dos pilares: (largura=1.50 m)

$m_{sd,neg} = 53.67 \text{ (kN.m/m)}$
 $m_{sd,pos} = 19.38 \text{ (kN.m/m)}$

-Armaduras:

superior (cm²/m): 5.19
inferior (cm²/m): 2.02
inferior (cm²/nervura): 1.86

Faixa lateral: (largura=2.10 m)

$m_{sd,neg} = 15.79 \text{ (kN.m/m)}$
 $m_{sd,pos} = 15.30 \text{ (kN.m/m)}$

-Armaduras:

superior (cm²/m): 1.48
inferior (cm²/m): 1.56
inferior (cm²/nervura): 1.44

- Maximas profundidades do eixo neutro (para moment. neg.)

Valor maximo de x para paineis interiores (cm) 2.62
Valor maximo de x para paineis exteriores (cm) 3.05

8. MEDICOES -Incluidas armaduras de distrib.e construtiva)
-A armadura de dist/const. foi de: 5 ø 8 / m

- Resumo de quantidades por painel interior

Armaduras (kg) = 441.753
Betao complementar (m³) = 6.230
Volume aparente do aligeiramento (m³) 8.890

ANEXO 4

CALCULO DE LAJES FUNGIFORMES ALIGEIRADAS

Fungi Leca® - 15

1. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

- Espacamento entre pilares
 - lx (maior vao) = 7.200 (met.)
 - ly (menor vao) = 6.000 (met.)
 - seccao circular com diametro $\varnothing = .400$ (met.)
- Espessura da laje
 - h (espessura total) = .350 (met.)
 - h0 (espessura da lajeta) = .050 (met.)
 - (espessura da lajeta deve garantir pos.eixo neutro)
- Blocos (ou vazios) de aligeiramento
 - bx (dimensao seg. OX) = .800 (met.)
 - by (dimensao seg. OY) = .800 (met.)
- Espessura das nervuras
 - bx0 (dimensao seg. OX) = .150 (met.)
 - by0 (dimensao seg. OY) = .150 (met.)

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- Betao complementar B25
- Armaduras A400
- Aligeiramento com peso especifico aparente 3.24 (kN/m³)
- Outros dados
 - Altura util adoptada = .310 (met.)
 - Percentagem media de armadura de flexao = .010

3. ACCOES

- Peso proprio g1 4.121 (kN/m²)
- Revest. + div. + outros g2 3.000 (kN/m²)
- Sobrecarga de utilizacao q 2.00 (kN/m²)
- Carga total de calculo psd12.613 (kN/m²)

4. ESTADO LIMITE DE DEFORMACAO

- Maior vao l (=lef=lx) 7.20 (met.)
 - $l/d < C.k1.k2.k3$ (C=21 a 30)
 - $k1=8,5/lef= 1.0$ ($k1=1,0$ se $lef<8,5$)
 - $k2=(400/fyk)*(As,ef/As,calc)= 1.0$
 - $k3=0.8$ (laje aligeirada; viga em T)
 - $l/d=23.2$ No intervalo: $21.k1.k2.k3 - 30.k1.k2.k3$

Estado Limite de Deformacao verificado. $16.8 < 23.2 < 24.0$

5. PUNCOAMENTO

- Perimetro critico $u = 4.18$ (met.)
- $K = 1,6-d = 1.29$
- $Vsd = 544.881$ (kN)
- $vsd = 149.969$ (kN/met.)
- $vrđ1 = 191.952$ (kN/met.)
- $vrđ2 = 307.123$ (kN/met.)
- Não é necessária Asw .

6. ESFORÇO TRANSVERSO NAS NERVURAS

Esforço transversal nas nervuras seg. OX:

- Valor de $asw/s, min$ (por nervura) seg. OX $awminx = .000148$
- Valor de Vcd (kN / nervura) $vcdx = 30.2250$
- Valor do Vrd da armadura mínima (kN/nervura) $vrminx = 77.1815$
- Valor do Vsd, max observado (kN / nervura) $vsdmax = 29.8600$
- Estribos de 6 mm afastados de: (m) $.28$

Esforço transversal nas nervuras seg. OY:

- Valor de $asw/s, min$ (por nervura) seg. OY $awminy = .000123$
- Valor de Vcd (kN / nervura) $vcdx = 30.2250$
- Valor do Vrd da armadura mínima (kN/nervura) $vrminy = 77.1815$
- Valor do Vsd, max observado (kN / nervura) $vsdmax = 24.8034$
- Estribos de 6 mm afastados de: (m) $.28$

7. CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FLEXÃO

- Armaduras mínimas de flexão (cm²)
 - As, min neg. por metro - $asnmin = 4.65$
 - As, min pos. nervuras OX por nervura - $aspmix = .70$
 - As, min pos. nervuras OY por nervura - $aspmiy = .70$
- Porticos segundo OX - painéis interiores
 - $ln =$ vão livre $= 6.84$ (met.)
 - $M0, x = psd * ly * ln * ln / 8 = 443.10$ (kN.m)
 - $Msd, neg = M0, x * 0,65 = 288.01$ (kN.m)
 - $Msd, pos = M0, x * 0,35 = 155.08$ (kN.m)

Faixa dos pilares: (largura=1.50 m)

$$msd, neg = 0,375 * Msd, neg / (1.50) = 72.00 \text{ (kN.m/m)}$$

$$msd, pos = 0,275 * Msd, pos / (1.50) = 28.43 \text{ (kN.m/m)}$$

-Armaduras:

$$\text{superior (cm}^2\text{/m): } 7.05$$

$$\text{inferior (cm}^2\text{/m): } 3.03$$

$$\text{inferior (cm}^2\text{/nervura): } 2.88$$

Faixa lateral: (largura=1.50 m)

$$msd, neg = 0,125 * Msd, neg / (1.50) = 24.00 \text{ (kN.m/m)}$$

$$msd, pos = 0,225 * Msd, pos / (1.50) = 23.26 \text{ (kN.m/m)}$$

-Armaduras:

$$\text{superior (cm}^2\text{/m): } 2.27$$

$$\text{inferior (cm}^2\text{/m): } 2.42$$

$$\text{inferior (cm}^2\text{/nervura): } 2.30$$

- Porticos segundo OY - paineis interiores

ln= vao livre=5.64 (met.)
 $M_{0,y} = \text{psd} \cdot l_x \cdot l_n \cdot l_n / 8 = 361.60 \text{ (kN.m)}$
 $M_{sd,neg} = M_{0,y} \cdot 0,65 = 235.04 \text{ (kN.m)}$
 $M_{sd,pos} = M_{0,y} \cdot 0,35 = 126.56 \text{ (kN.m)}$

Faixa dos pilares: (largura=1.50 m)

$m_{sd,neg} = 55.50 \text{ (kN.m/m)}$
 $m_{sd,pos} = 20.04 \text{ (kN.m/m)}$

-Armaduras:

superior (cm²/m): 5.37
inferior (cm²/m): 2.05
inferior (cm²/nervura): 1.95

Faixa lateral: (largura=2.10 m)

$m_{sd,neg} = 16.32 \text{ (kN.m/m)}$
 $m_{sd,pos} = 15.82 \text{ (kN.m/m)}$

-Armaduras:

superior (cm²/m): 1.53
inferior (cm²/m): 1.59
inferior (cm²/nervura): 1.51

- Maximas profundidades do eixo neutro (para moment. neg.)

Valor maximo de x para paineis interiores (cm) 2.71

Valor maximo de x para paineis exteriores (cm) 3.16

8. MEDICOES -Incluidas armaduras de distrib.e construtiva)

-A armadura de dist/const. foi de: 5 ø 8 / m

- Resumo de quantidades por painel interior

Armaduras (kg) = 424.656
Betao complementar (m³) = 6.783
Volume aparente do aligeiramento (m³) 8.337